

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

**Ozon v textilní technologii**  
**The ozone in textile technology**

Vedoucí práce: prof. Ing. Jakub Wiener, Ph.D.

Konzultant: Ing. Mária Průšová

Počet stran: 85

Počet tabulek: 15

Počet obrázků: 8

Počet grafů: 23

**Liberec 2013**

**Bc. Nela Krajčová**

### P r o h l á š e n í

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 15.12. 2013

.....

Podpis

### **Poděkování**

Úvodem své diplomové práce bych chtěla poděkovat prof. Ing. Jakubu Wienerovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Márii Průšové za konzultace při vyhodnocování testů pro experimentální část.

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je posoudit, zda je možné využívat působení ozonu v textilních technologiích a zjistit možné kladné či záporné následky působení ozonu na textilní materiály a technologie.

V teoretické části diplomové práce je vypracován rešeršní přehled o ozonu, generování ozonu a jeho aplikacích v jednotlivých průmyslových odvětvích dle dostupné odborné literatury.

Experimentální část diplomové práce se zabývá testováním působení ozonu na textilní technologie a materiály pomocí variabilně stanovených vstupních veličin (čas působení ozonu, výkon generátoru ozonu, průtok ozonu). Po vystavení působení ozonu na textilní materiály byly v této práci sledovány změny vlastností textilních materiálů, např. mechanické vlastnosti, smáčivost, úbytek barviva z textilního materiálu.

## **Abstract**

The aim of this thesis is to assess, whether it is possible to use ozone in textile technology and to identify possible positive or negative effects of ozone on textile materials and technology.

In the theoretical part of the thesis is elaborated research overview of ozone, ozone generation and its applications in different industries according to the available literature.

The experimental part of the thesis deals with testing the effect of ozone on textile technology and materials using a variable set of input variables (time ozone, ozone generator power, the flow rate of ozone). After exposure of ozone on textile materials in this work were observed changes in the properties of textile materials, such as mechanical properties, wettability, and loss of the dye from the textile material.

**Klíčová slova:** ozon, textilní materiály, koncentrace ozonu, mechanické vlastnosti, pevnost, tažnost, smáčivost

**Keywords:** ozone, textile materials, concentration of ozone, mechanical properties, strength, elongation, wettability

## Seznam zkratek:

PA	polyamid
POP	polypropylen
PES	polyester
např.	například
atd.	a tak dále
viz	podívejte se
tj.	to je
tzv.	tak zvané
tab.	tabulka
obr.	obrázek
H <sub>2</sub> O	voda
CH <sub>3</sub> COOH	kyselina mravenčí
Cu-číslo	měďné číslo

## Obsah:

1. Úvod .....	10
2. Ozon .....	10
2.1 Historie ozonu .....	11
2.2 Atmosférický ozon .....	12
2.3 Fyzikální vlastnosti ozonu .....	13
2.3.1 Obecné fyzikální vlastnosti .....	13
2.3.2 Mechanické a termodynamické vlastnosti .....	15
2.3.3 Optické vlastnosti .....	17
2.4 Chemické vlastnosti ozonu .....	18
2.4.1 Tepelný rozklad a výbušný rozklad .....	20
2.4.2 Meze výbušnosti .....	21
2.4.3 Chemické reakce ozonu .....	22
2.4.4 Interakce ozonu s různými (chemickými) látkami .....	26
2.5 Generování ozonu .....	28
2.5.1 Generování ozonu elektrickým výbojem (koronový proces) .....	28
2.5.2 Generování ozonu fotochemickou metodou (UV záření) .....	30
2.5.3 Generování ozonu elektrolytickou metodou .....	31
2.5.4 Generování ozonu chemickou metodou .....	32
2.5.5 Generování ozonu termickou metodou .....	32
2.6 Analytické metody pro stanovení koncentrace ozonu .....	33
2.6.1 Chemické metody stanovení koncentrace ozonu .....	33
2.6.2 Fotochemické metody stanovení koncentrace ozonu .....	35
2.7 Praktické využití ozonu .....	36
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	41
3. Použité přístroje a pomůcky .....	41
3.1 Zařízení pro generování ozonu a měření koncentrace ozonu .....	41
3.1.1 Generátor ozonu - Triotech Go-5labK .....	42
3.1.2 Analyzátor koncentrace ozonu - LF2000 .....	43
3.2 Přístroje použité pro testování .....	44
3.2.1 Trhací stroj .....	44
3.2.2 Spektrometr .....	45
3.3 Použité materiály .....	46
3.4 Použitá barviva .....	48
4. Příprava vzorků - ozonizace .....	48
5. Vliv působení ozonu s textilními materiály a technologiemi .....	49
5.1 Vliv působení ozonu versus množství koncentrace ozonu .....	49
5.1.1 Experiment č. 1 – plošné textilie .....	50
5.1.2 Experiment č. 2 – vlákna .....	51

5.1.3 Diskuze výsledků - množství koncentrace ozonu.....	51
5.2 Vliv ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů .....	52
5.2.1 Experiment č. 3 – tkaniny .....	53
5.2.2 Diskuze výsledků - mechanické vlastnosti tkanin .....	55
5.2.3 Experiment č. 4 - příze.....	56
5.2.4 Diskuze výsledků - mechanické vlastnosti přízí .....	60
5.3 Vliv ozonu na mechanické vlastnosti Kevlaru .....	60
5.3.1 Experiment č. 5 – Kevlar (tkanina).....	61
5.3.2 Diskuze výsledků – mechanické vlastnosti kevlarové tkaniny .....	63
5.3.3 Experiment č. 6 – Kevlar (příze).....	64
5.3.3 Vliv ozonu na mechanické vlastnosti Kevlaru – diskuze výsledků.....	67
5.4 Vliv ozonu na smáčivost textilních materiálů.....	67
5.4.1 Experiment č. 7 – smáčivost textilních materiálů.....	67
5.4.2 Diskuze výsledků - smáčivost.....	69
5.5 Vliv ozonu na odbarvování textilních materiálů.....	70
5.5.1 Experiment č. 8 – odbarvování roztoku barviva.....	71
5.5.2 Experiment č. 9 – odbarvování PA fólie .....	73
5.5.3 Experiment č. 10 – odbarvování PA tkaniny .....	74
5.5.4 Vliv ozonu na odbarvování textilních materiálů – diskuze výsledků .....	76
5.6 Vliv ozonu na chemické poškození bavlny .....	76
5.6.1 Experiment č. 11 - chemické poškození bavlny.....	76
5.6.2 Diskuze výsledků – chemické poškození bavlny.....	78
6. Závěr.....	79
7. Seznam použité literatury:.....	82
8. Přílohy – výsledky měření .....	87

# 1. Úvod

Základní potenciál ozonu spočívá v jeho silných oxidačních účincích. Díky těmto účinkům lze ozon využívat v mnoho odvětvích. Své uplatnění ozon nachází ve značné míře při úpravě pitné a užitkové vody, kde je ozon schopen likvidovat veškeré bakterie, viry a mikroorganismy. Velký význam má ozon také při desinfekci a desodoraci vzduchu, kdy kromě odstraňování mikroorganismů má ozon příznivý vliv vůči šíření plísní a odstraňuje nežádoucí zápachy. Uplatnění ozon nachází také ve zdravotnictví, kde jej lze využít jako desinfekční prostředek, avšak také je využíván k léčbě mnoha onemocnění (ozonová terapie). V potravinářském průmyslu slouží ozon jako desinfekční prostředek pro zachování čistého prostředí bez bakterií pro zpracovávání potravin. Velmi často ozon, jako desinfekční prostředek, nahrazuje chlor, jelikož se rozpadá na kyslík a při reakci s jinými látkami nevytváří škodlivé sloučeniny.

Ozon, jakožto reaktant je možné také využívat v textilní praxi. Jako v jiných odvětvích se ozon využívá jako desinfekční prostředek k odstraňování bakterií a mikroorganismů z textilií (praní). Ozon je schopný reagovat s organickými sloučeninami, tudíž je schopný reagovat s textilními vlákny či prostředky používanými v textilním průmyslu (např. barviva). Tento fakt je cílem této diplomové práce.

V této diplomové práci jsou zaznamenány experimenty využívající ozon jako reakční složku interagující s textilními materiály. Experimentální část této práce se zaměřuje na působení ozonu na různé textilní materiály a vliv na jejich vlastnosti jako jsou například smáčivost, pevnost a tažnost. Experimentální část zahrnuje také pokusy působení ozonu na odbarvování textilních materiálů.

## 2. Ozon

Ozon je bezbarvý nestabilní plyn se štiplavým zápachem, který je možné snadno detekovat čichem už v malých koncentracích. Ozon je silný oxidant, druhý po hydroxylovém radikálu, který se jako ozon používá k úpravě vody. Jako oxidant je schopen oxidovat mnoho organických a anorganických sloučenin ve vodě. Ozon je vysoce toxický. [7]

Ozon je tvořený třemi atomy kyslíku  $O_3$  z původně stabilní dvouatomové molekuly  $O_2$ . Pokud je kyslík vystaven elektrickým výbojům, dochází k rozštěpení kyslíkových molekul na jednotlivé atomy, které se posléze opět spojují. Přičemž dochází ke vzniku



jak dvouatomového  $O_2$ , tak také ke vzniku molekuly obsahující tři atomy kyslíku  $O_3$ . Tříatomová molekula  $O_3$  je nestabilní a samovolně se rozpadá zpět na dvouatomovou molekulu  $O_2$ . Poločas rozpadu  $O_3$  je závislý na teplotě, prostředí a dalších jiných faktorech. Díky vysoké nestabilitě nelze ozon skladovat a je nutné ho připravovat přímo na místě jeho využití. [1], [2]

## 2.1 Historie ozonu

**1785** - Nizozemský vědec Marinus Van Mauran poprvé pozoroval a popsal vůni ozonu při pokusech s elektrickými jiskrami. [3]

**1840** – Objeven ozon německým chemikem Christianem Frederickem Schönbeinem na univerzitě ve švýcarské Basileji. Ten ho však považoval za nový prvek a pojmenoval tento plyn podle jeho pronikavé vůně ozon (z řeckého *ozein* – vůně, čichat). Schönbeinovi je připisován objev ozonu a také je uveden jako první člověk, který uskutečnil výzkum mechanismů reakce ozonu a organických látek. [3], [4]

**1845** – Francouzští vědci Auguste de la Rive a Jean Chares de Marignac přišli s teorií, že se jedná pouze o novou formu běžného kyslíku a tím přišli na pravou podstatu ozonu. [3]

**1856** – Angličan Thomas Andrews potvrdil teorii francouzských vědců z roku 1845 a dokázal, že ozon je tvořen pouze kyslíkem. Andrews poprvé laboratorně demonstroval oxidační a dezinfekční vlastnosti ozonu. [3]

**1856** – Byl ozon poprvé použit k dezinfekci operačního sálu. [3]

**1857** – Vynálezce Werner von Siemens navrhnul první ozonový generátor. [5]

**1860** – V Monaku byla postavena první čistička pitné vody využívající k čištění vody ozon. [3]

**1865** – Soret Jacques-Louis objevil chemický vzorec ozonu. [5]

**1896** – Nikola Tesla patentuje svůj první ozonový generátor. [5]

**1900** – Nikola Tesla založil v USA společnost „Tesla Ozone Company“, která vyráběla jako první ozonové generátory využívající Teslova patentu vysokofrekvenčního transformátoru. [6]

**1901** – Ve Wiesbadenu je postavena první německá vodní čistička využívající k čištění vody ozon (Werner von Siemens). [3]

**1914-1918** – Během 1. světové války byl ozon využíván k léčbě ran po amputacích, gangrénách a otrav plyným chlorem.

**1920** – Charles Neiswanger publikoval titul „Elektro terapeutická praxe“. Kapitola 32 se zabývá ozonem jako terapeutickým činidlem. [3]

**1957** – J. Hansler patentoval svůj ozonový generátor pro medicínské aplikace. Posléze zahájil výrobu těchto generátorů ozonu a tím zahájil nástup ozonové terapie v Německu. [3], [6]

## **2.2 Atmosférický ozon**

Jako jediným přírodním zdrojem ozonu je zemská atmosféra. Ačkoliv ozon tvoří jen  $10^{-5}$  procent zemské atmosféry, hraje velmi důležitou roli v pozemském životě. Ozon v přírodě zastupuje kontrolní roli nad přírodními znečišťujícími látkami, tak aby nedocházelo k jejich velkému výskytu a nečinili planetu neobyvatelnou. Přebytek ozonu ve vzduchu zabíjí všechny bakterie, viry a plísně. Ozon v přirozené formě tvoří ve vzduchu koncentraci okolo 0,02 ppm, přičemž může dosáhnout až koncentrace 0,10ppm. V úrovních těchto koncentrací je ozon schopen udržet patogeny (bakterie, viry, plísně) v přijatelné míře a není škodlivý pro vyšší formy života, jako jsou např. ryby, ptáci či člověk. V oblastech s vysokým znečištěním, jako jsou například města, dochází k spotřebovávání ozonu všemi škodlivinami, které jsou vypouštěny do ovzduší z automobilů, továren apod. Vysoké znečištění způsobuje absenci ozonu v ovzduší.

Ozon má silný absorpční pás v infračervené oblasti (kolem 9,7  $\mu\text{m}$ ), což má za následek zachovávání dostatečného množství tepla, které by bylo jinak ztraceno zářením do vnějšího prostoru.

Malé množství ozonu obsaženého v atmosféře je schopno absorbovat sluneční záření vlnové délky menší než 300 nm. Toto sluneční záření by mohlo mít škodlivé účinky na živé organismy. Rostliny jsou citlivé na UV záření pod 310 nm. Díky schopnosti ozonu absorbovat sluneční záření je významně sníženo množství slunečního záření dopadající na zemský povrch a tak biologické látky nejsou vystaveny intenzivnímu UV záření.

Studium o významu atmosférického ozonu bylo zahájeno již v roce 1920. První měření atmosférického ozonu se uskutečnilo v roce 1925 ve Švýcarsku a v Anglii. [1], [9]

## 2.3 Fyzikální vlastnosti ozonu

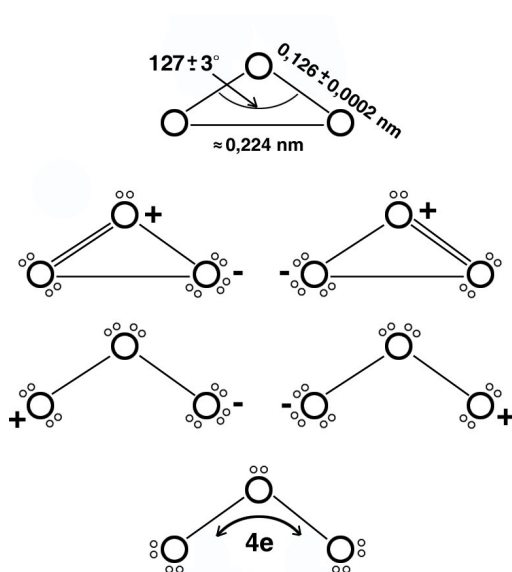
### 2.3.1 Obecné fyzikální vlastnosti

V plynné formě je ozón bezbarvý, avšak ve vyšší hustotě má ozon namodralou barvu. V kapalně formě je ozón téměř neprůhledný – namodralý až černý. Krystaly ozónu, jako pevná forma ozonu, jsou modrofialové.

Ozon má charakteristický zápach připomínající fosfor a oxid siřičitý. Lidské čichové orgány jsou velmi citlivé na ozon. Dolní limit detekce koncentrovaného ozonového aroma u lidí je 0,01 mg/kg v přítomnosti oxidů dusíku při tlaku 0,1- 1 Pa. S čistým ozonem je tento limit zvýšen na 0,02 – 0,05 mg/kg. [9]

#### Molekulární struktura

Po dlouhou dobu se věřilo, že molekula ozonu má kruhovou strukturu, kde všechny tři atomy kyslíku jsou ekvivalentní. Analýza elektronové difrakce však ukázala, že tři atomy kyslíku v plynné fázi ozonu tvoří rovnoramenný trojúhelník s vrcholovým úhlem  $127 \pm 3^\circ$  a s délkou stejných stran  $0,126 \pm 0,002$  nm, přičemž základna rovnoramenného trojúhelníku plynného ozonu má kolem 0,224 nm. Naopak mikrovlnná spektrální analýza zjistila vrcholový úhel rovnoramenného trojúhelníku ozonu  $116^\circ 49' \pm 30'$  a délky stejných stran  $0,1278 \pm 0,0003$  nm. Mikrovlnná spektrální analýza vyhodnotila vrcholový úhel o  $10^\circ$  menší než u analýzy elektronovou difrakcí. [9]



Obr. 1 Geometrie a vaznost ozonu [9]

Analýza rentgenové difrakce provedená na ozonu rozpuštěném v kapalném kyslíku ukázala, že vzdálenosti mezi atomy kyslíku v ozonu jsou 0,13 a 0,22 nm.

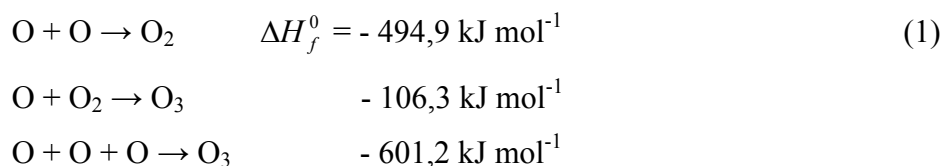
Izotopy kyslíku tvoří pět různě zjištěných izotopů ozonu s různými vrcholovými úhly a různými délkami stejných stran rovnoramenného trojúhelníku tvořeného atomy ozonu. V tabulce 1 jsou uvedeny hodnoty vrcholových úhlů a délek stejných stran zjištěné na základě tří různých vibračních frekvencí mikrovlnou spektroskopií. [9]

Valenční úhel (vrcholový úhel) ozonových izotopů			
	1	2	3
$^{16}\text{O}_3$	116°58,6′	117°2,1′	116°27,8′
$^{16}\text{O} \ ^{16}\text{O} \ ^{18}\text{O}$	116°58′	117°0′	116°32,6′
$^{16}\text{O} \ ^{18}\text{O} \ ^{16}\text{O}$	116°58,4′	117°2,2′	116°28,5′
$^{16}\text{O} \ ^{18}\text{O} \ ^{18}\text{O}$	116°59,6′	117°2,2′	116°29,5′
$^{18}\text{O}_3$	116°58,7′	117°0,8′	116°25′
Atomové vzdálenosti ozonových izotopů (délky stejných stran) [nm]			
	1	2	3
$^{16}\text{O}_3$	0,12759	0,12771	0,12794
$^{16}\text{O} \ ^{16}\text{O} \ ^{18}\text{O}$	0,12761	0,12775	0,12991
$^{16}\text{O} \ ^{18}\text{O} \ ^{16}\text{O}$	0,12758	0,12770	0,12792
$^{16}\text{O} \ ^{18}\text{O} \ ^{18}\text{O}$	0,12759	0,12700	0,12791
$^{18}\text{O}_3$	0,12747	0,12760	0,12785

Tab. 1 Valenční úhly a atomové vzdálenosti ozonových izotopů stanovené třemi různými frekvencemi mikrovlnné spektroskopie [9]

### Tvorba tepla

Ozon vzniká z kyslíku elektrickým výbojem, ultrafialovým zářením nebo chemickou reakcí. Reakce a tepelný obsah jsou následující:



Tyto výsledky platí pod tlakem 1,013 bar a teplotě 273K. S rostoucí teplotou se zvyšuje tepelný obsah. [9]

## 2.3.2 Mechanické a termodynamické vlastnosti

### Teplota tání

Bod tání byl poprvé stanoven G. M. Schwabem. Schwab předpokládá, pro bod tuhnutí ozonu teplotu v blízkosti bodu varu vodíku 21,75 K. Tato hodnota byla po dlouhou dobu uváděna v mnoha publikacích, avšak je chybná. Následným měřením bylo zjištěno, že teplota tání leží od původního Schwabova zjištění téměř o 60 K výše.

Nové stanovení teploty tání bylo provedeno za použití tekutého dusíku a vedlo k hodnotě  $80,2 \pm 0,5$  K (podle J. R. C. Browna) a  $80,7 \pm 0,4$  K (podle A. C. Jenkinse a F. S. DiPaola). [9]

### Teplota varu

Téměř identické hodnoty teploty varu ozonu byly stanoveny jednotlivými výzkumnými pracovníky. V současné době je teplota varu stanovena na  $161,3 \pm 0,3$  K ( $111,9 \pm 0,3$  °C). [9], [10]

### Kritické konstanty a tlak par

Kritickou teplotu a kritický tlak byl stanoven C. M. Birdsalem a A. C. Jenkinsnem. Kritické konstanty nemůžou být stanoveny na stejnou úroveň přesnosti. U měření kritické teploty je uvedený rozsah mezi 250 a 268 K. Hodnoty získané pro kritický tlak vykazují také podobný rozptyl hodnot jako u kritické teploty. [9]

Kritická teplota  $T_{cr} = 261,06 \pm 0,1$  K (-12,1 °C)

Kritický tlak  $p_{cr} = 55,3$  bar

### Hustota

Hustota ozonu v plynné fázi byla stanovena pomocí zákona ideálních plynů, který tak dal hodnotu  $2,1415 \text{ kg.m}^{-3}$  při teplotě 273 K a tlaku 1,013 bar.

Hustotu kapalného ozonu jako první stanovili E. H. Riesenfeld a G. M. Schwab na  $1,71 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$  za atmosférické teploty varu kyslíku 90,2 K. Následně řada různých výzkumných pracovníků provedla série měření stanovení hustoty kapalného ozonu a došla k závěru, že ozon v kapalně formě má při různých teplotách odlišné hodnoty hustoty.

Hustota ozonu v pevné fázi je stanovena na  $1,728 \text{ g.cm}^{-3}$  při teplotě 77,4 K. [9], [10]

## Viskozita a povrchové napětí

R. H. Hughes stanovil viskozitu ozonu na 0,0133 mPa.s, při teplotě 300 K ze struktury molekul ozonu a jejich kritických konstant. Viskozita kapalného ozonu byla stanovena pro určité teploty (tab. 2). [9]

Teplota		Viskozita
°C	K	mPa.s
-195,6	77,6	4,14
-195	78,2	4,20
-183	90,2	1,56
-180	93,2	1,16
-170	103,2	0,775
-160	113,2	0,585
-150	123,2	0,483

Tab. 2 Viskozita kapalného ozonu při různých teplotách [9]

Jako předešlé veličiny je povrchové napětí kapalného ozonu závislé na teplotě. V následující tabulce (tab. 3) si lze prohlédnout několik hodnot povrchového napětí kapalného ozonu pro několik stanovených teplot. [9]

Teplota		Povrchové napětí
°C	K	mN.m <sup>-1</sup>
-195,5	77,7	43,8 ± 0,1
-183	90,2	38,4 ± 0,7
-183,7	90,5	38,1 ± 0,2

Tab. 3 Povrchové napětí kapalného ozonu při různých teplotách [9]

## Měrné teplo a termodynamické potenciály

Pokud ozon budeme považovat jako ideální plyn, lze měrné teplo stanovit na základě těchto předpokladů – existují tři stupně volnosti pro translační složku  $3/2 R$  molárního tepla. Rotace a vibrace mají dva stupně volnosti (ostatní stupně volnosti jsou efektivní jen při vyšších teplotách), přičemž specifické teplo za konstantního tlaku bude

$$c_p = c_v + R = \frac{9}{2}R = 37,417 \text{ kJmol}^{-1} \text{K}^{-1} \quad (2)$$

Pro kapalný ozon, teoretická hodnota  $75,4 \text{ kJmol}^{-1} \text{K}^{-1}$  může být stanovena výpočtem. Adiabatický exponent byl přibližně stanoven ze směsi kyslíku a ozonu ( $\kappa=1,388$ ) pro směs obsahující 6,78 % hmotnosti ozonu. [9]

### **Rozpustnost ve vodě**

Ozon ve vodě jako v rozpouštědlu je mírně rozpustný. Rozpustnost je do značné míry ovlivněna přítomností znečišťujících látek ve vodě, zejména se jedná o kovové ionty. Rozpustnost ozonu v roztocích je ovlivněna jednotlivými látkami. V případě, že roztok obsahuje 0,01 mol kyseliny chloristé, koncentrace ozonu klesne o polovinu do 18-ti hodin při teplotě 298 K. V roztoku obsahující 0,001 mol chloristanu železnatého koncentrace ozonu klesne na polovinu za 83 hodin. [9]

### **2.3.3 Optické vlastnosti**

Optické vlastnosti ozonu hrají důležitou roli nejen v přírodě a během přírodních jevů, ale také v průmyslových aplikacích.

Index lomu plynného ozonu ve vakuu při teplotě 273 K je  $n = 1.0533$  pro vlnové délky 480, 546 a 671 nm. Index lomu u ozonu v kapalném stavu je  $n = 1.2236$ , 1.2226 a 1.2213 pro vlnové délky 535, 589 a 670,5 nm.

V plynné fázi ozon absorbuje infračervené, viditelné a ultrafialové záření podobným způsobem. Absorpční pás zaznamenává vlnové délky od 14,2  $\mu$  po 220 nm. V ultrafialové oblasti záření je absorpce silná. V této oblasti je absorpce velmi výrazná okolo 260 nm.

Celkové množství ozonu, obsaženého v ozonoféře zemské atmosféry, by tvořil při standardní teplotě a tlaku 3 mm silnou vrstvu. Právě tato 3 mm silná vrstva absorbuje téměř všechno ultrafialové záření vyzářené sluncem a infračervené záření z povrchu země. Ultrafialové záření je absorbováno v rozmezí od 220 do 290 nm a infračervené záření je absorbováno v rozmezí od 9 do 10  $\mu\text{m}$ . V oblasti infračerveného záření můžeme množství absorpce získat z Lambert-Beerova zákona:

$$I = I_0 e^{-kcl} \quad (3)$$

kde koeficient  $k$  je v případě atmosférického ozonu 3.0, 3.0 a 0.2 pro vlnové délky 4.75, 9.65 a 14.1  $\mu\text{m}$ . Exponenta  $c$  představuje počet absorbovaných molekul na cm. Délka dráhy v centimetrech. Absorpční koeficient je silně závislý na tlaku a to zejména pro vlnové délky okolo 9,6  $\mu\text{m}$ .

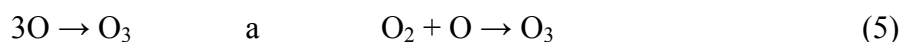
Viditelné spektrum ozonu vykazuje absorpční pás při 600 nm. Vlnové délky okolo 600 nm jsou odpovědné za modrou barvu ve všech třech skupenství ozonu. Také jsou odpovědné za fialovo-modrý odstín při vrcholu západu slunce a soumraku. V ultrafialové oblasti jsou tři absorpční maxima o vlnových délkách 255.3, 313.5 a 343.9 nm. [9]

## 2.4 Chemické vlastnosti ozonu

Z chemického hlediska existují dvě rovnice pro vznik ozonu:



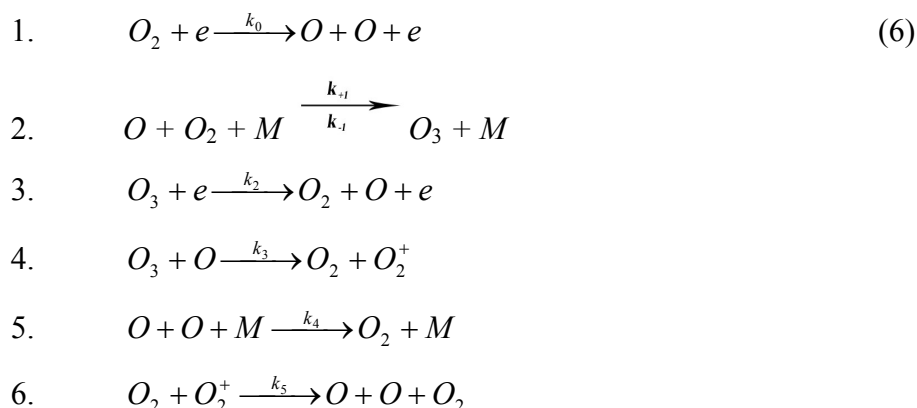
Podle první rovnice je tvorba ozonu endotermní proces. Jedná se o čistě tepelnou reakci. Rovnováha mezi kyslíkem a ozonem se posouvá směrem k ozonu s rostoucí teplotou, respektive relativní koncentrace ozonu vůči kyslíku se zvyšuje. Experimentálně získané výsledky nejsou ve shodě s koncentracemi vypočítaných z této rovnice. S rostoucí teplotou se zvyšuje počet disociovaných molekul a atomy kyslíku se formují, čímž dochází k exotermní reakci:



Koncentrace ozonu by měla mít maximální hodnotu v některých konkrétních teplotách. Během měření může dojít k nepřesnostem, vlivem malých koncentrací za vysokých teplot a způsobit tak rozdíl mezi hodnotami získaných měření a hodnotami získaných termodynamickými výpočty. [9]



Mechanismus reakce ozonu prostřednictvím elektrických výbojů lze popsat pomocí následujících rovnic:



kde  $e$  znázorňuje elektron,  $M$  nosný plyn (v tomto případě kyslík) a  $+$  označuje excitovaný  $O_2$  molekuly. Rovnice 3 a 4 lze zanedbat, jelikož v jejich případě koncentrace atomů kyslíku a ozonu jsou velmi malé. Také rovnici 5 můžeme zanedbat a to z důvodu vysokých teplot, ke kterým dochází během této reakce. Vzhledem k velmi krátké a střídavé povaze výboje, může být každé značné zvýšení teploty sotva znatelné, proto pouze reakce 1, 2 a 3 mají vliv na mechanismus. Primární reakce je iniciace elektronů ve vysokofrekvenčním elektrickém poli založeném na nízkofrekvenčním výboji 50 Hz sítě. Rychlost zahájení reakce je přímo úměrná intenzitě elektrického množství, nebo množství elektronů procházejících skrz výbojovou oblast během jednotky času. Výboj probíhá přes mnoho malých kolon procházejících skrz celý výbojový prostor, přičemž kolony jsou kolmé k oběma povrchům elektrod. Výbojový prostor mezi elektrodami je rozdělen do dvou oblastí. Jedna oblast je tvořena kolonami, skrz které prochází proud a druhá oblast je volná výbojová zóna. Ve volné výbojové zóně nejsou přítomny žádné elektrony v průběhu výboje a ani po průběhu výboje. Čím více kolon je k dispozici pro průchod směsi plynu, tím více je umožněno atomům kyslíku srážet a vytvářet molekuly ozonu. [9]

Tvorba ozonu je nepřímo úměrná rychlosti proudění. Toto tvrzení bylo ověřeno experimenty, kde reakční mechanismy tvorby ozonu byly koncipovány v prostoru a čase: [9]

- Reakce kdy elektrony zůstávají v koloně během vysokofrekvenčního výboje po dobu  $10^{-6}$  až  $10^{-7}$  vteřin.

- Reakce v kolonách mezi dvěma po sobě následujícími vysokofrekvenčními výboji. Tato fáze reakce trvá  $10^{-2}$  vteřiny a během této fáze neprobíhají žádné elektrické jevy.
- Reakce v prostoru mimo kolony probíhají tak dlouho, dokud směs plynu zůstává ve výbojovém prostoru.

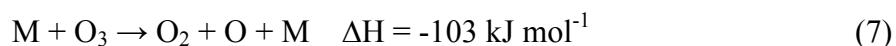
### 2.4.1 Tepelný rozklad a výbušný rozklad

Náhlé stlačení směsi ozonu a kyslíku při pokojové teplotě způsobí velmi prudký výbuch. V případě, že se směs ochladí, nedojde k explozi z důvodu, že tlak je pod určitou mezí. Tak například může být ozon stlačen a skladován při tlaku 10 bar, avšak jen při teplotě mezi 248 a 253 K.

Výbušný rozklad nastává i při nízkých tlacích v důsledku náhlého oteplení. Je zajímavé, že výbuch je iniciován působením světla ze skleněné baňky pouze v případě, že koncentrace ozonu je vyšší než 30 procent. V tomto rozsahu směs kyslíku a ozonu reaguje citlivě na mechanické vlivy, jako jsou vibrace a rázy.

Pokud směs kyslíku a ozonu obsahuje 15 procent ozonu, je možné tuto směs skladovat v měděných nádobách pod vysokým tlakem. Například při tlaku 147 bar dojde k výbušnému rozkladu, protože směs je lokálně zahřána v důsledku katalytického rozkladu. [9]

Homogenní teplotní reakce v plynné fázi může být popsána podle S. Jahna následovně



a



kde  $M$  značí přítomné plyny (včetně ozonu), ale nejsou zapojeny do reakce. Výsledky týkající se především směsi ozonu jsou spíše jen kvalitativní povahy. Nosný plyn přítomný v reakci je: [9]



Jednotlivé složky jsou zde přítomny v množství úměrném k ozonu. V případě, že koncentrace atomů kyslíku se předpokládá, že je stacionární, lze reakční mechanismus zapsat: [9]

$$(O)_{st} = \frac{k_a(O_3)(M)}{k_b(O_2)(M) + k_c(O_3)} \quad (9)$$

Rychlost rozkladu ozonu se získá ze vztahu: [9]

$$-\frac{d(O_3)}{d\tau} = 2k_c(O_3)(O_{st}) \quad (10)$$

Podle vztahu 10 je rozklad ozonu exotermická reakce s tepelným uvolněním 389 kJ. To je umocněno aktivační energií, tak, že je více než 389 kJ energie přiděleno do dvou molů kyslíku. Tato energie je vyhodnocena jako translační energie, přičemž zde nebyly pozorovány disociace molekul kyslíku u excitovaných molekul. [9]

## 2.4.2 Meze výbušnosti

Mez výbušnosti směsi kyslíku a ozonu je závislá na řadě faktorů, jako je koncentrace, teplota, tlak a přítomnost nečistot nebo katalyzátorů ve směsi. Ozonovému rozkladu napomáhá velké množství katalyzátorů jako je většina kovů, všechny nenasyčené organické sloučeniny, které snadno oxidují, některé plyny (např. chlor), množství kovových oxidů a uhlíku.

E. H. Riesenfeld prostřednictvím svých experimentů potvrdil, že žádný výbuch nenastane pod hodnotu ozonové koncentrace 9 molárních procent při pokojové teplotě a tlaku 1 bar. Jako první provedl systematické šetření meze výbušnosti H. J. Schumacher. Pro své experimenty použil kouli o průměru 11 cm, ve které platinové vlákno sloužilo jako rozbuška. Svými experimenty pozoroval dva typy výbuchu směsi ozonu a kyslíku. U prvního typu výbuchu byla exploze vyvolaná typickým iniciačním účinkem, kde spodní limit výbušnosti byl stanoven na 9 molárních procent ozonové koncentrace. Druhý typ výbuchu byl charakteristický simultání reakcí celého obsahu nádoby. Zde

spodní limit výbušnosti byl stanoven mezi hodnotami 11,8 a 13 molárních procent. Limit výbušnosti se zvyšuje při snížení teploty a snižuje se při zvýšení tlaku.

Jako první zkoumal výbušnost kapalného ozonu G. A. Cook. Cook zkoumal směs ozonu a kyslíku při normální teplotě varu kyslíku, a to 90,1 K. Jiskra potřebná k tvorbě exploze byla vytvořena mezi elektrodami umístěnými v kapalně směsi. Délka jiskry se pohybuje mezi 0,6 a 1,05 mm a zážehové napětí mezi 15 a 20 kV. První mírný výbuch byl pozorován při koncentraci 18,6 molárních procent. Tato hodnota byla stanovena jako dolní limit výbušnosti kapalného ozonu. Pokud koncentrace ozonu ve směsi je vyšší než 20 molárních procent, dochází vždy k výrazné explozi. Velmi silné exploze nastávají při koncentraci ozonu v kapalně směsi nad 40 molárních procent ozonu. [9]

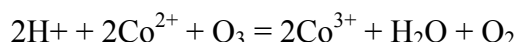
### 2.4.3 Chemické reakce ozonu

Chemická reakce ozonu souvisí s jeho molekulární strukturou. Jeden z atomů kyslíku může být poměrně snadno oddělen od molekuly ozonu, čímž vzniká molekula kyslíku. Ozon je prakticky nejsilnější oxidační činidlo. V anorganických reakcích se ozon projevuje jako mimořádně silné oxidační činidlo. Toto chování ozonu vyplývá z vysoké oxidačně redukčního potenciálu. Ozon oxiduje kovy, kromě zlata, platiny a iridia. Kovy ozon oxiduje na oxidy kovů v jejich nejvyšších oxidačních stavech. Oxiduje sulfidy na sírany, uhlík na oxid uhličitý (i při normální teplotě) a amoniak na dusičnan amonný. Ozon však nereaguje s amonnou solí. Halogeny působí jako katalyzátory podporující rozklad ozonu. [9]

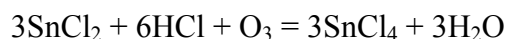
Ve většině oxidačních reakcí dochází k uvolnění jen jednoho atomu kyslíku z molekuly ozonu, například: [9]



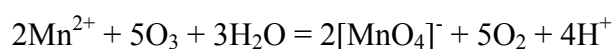
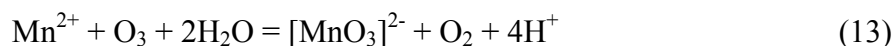
nebo



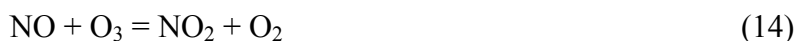
V případě, že molekulární kyslík vstupuje do reakce, mohou být všechny atomy kyslíku spotřebovány, jako například: [9]



Oxidace ozonem hraje důležitou roli při odstraňování železa a manganu z vody. Následujícím způsobem je uvedena zjednodušená dvoustupňová reakce probíhající při odstraňování manganu z vody: [9]



Oxid dusnatý s ozonem reaguje rychle již v prvním kroku a vzniká tak oxid dusičitý: [9]

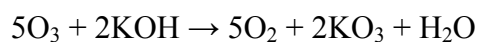
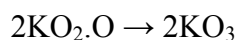
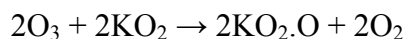
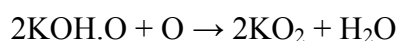
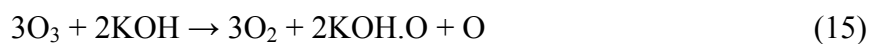


Tato reakce je doprovázena chemiluminiscencí ve viditelné oblasti spektra, což je jev, který se uplatňuje při analýze ozonu. [9]

Ozon se jeví jako reaktant v kryochemických reakcích. Kryochemické reakce zahrnují také tvorbu anorganických ozonidů, například červený ozonid amonný ( $\text{NH}_4\text{O}_3$ ) vytvořený z kapalného amoniaku při teplotě nižší než 173 K působením ozonu. Tato sloučenina je stabilní pouze při teplotách nižších než 147 K, při zvýšení teploty se ozonid amonný rozkládá.

Ozon tvoří barevné paramagnetické ozonidy a to zejména s alkalickými kovy. Ozonidy tvořené s draslíkem nebo cesiem jsou relativně stabilní při pokojové teplotě a mají praktický význam z hlediska jejich vysokého obsahu kyslíku.

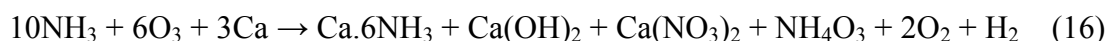
Podle I. I. Vol'nova jsou ozonidy alkalických zemin tvořeny prostřednictvím meziproductů vyrobených z atomů kyslíku. Následující reakční mechanismus je navržen pro tvorbu ozonidu draselného ( $\text{KO}_3$ ): [9]



Krystalický ozonid draselný je červený a může být tepelně rozložen vlivem teploty okolo 333 K podle termoanalytického měření. Autokatalytická reakce u ozonidu draselného probíhá při nižších teplotách. Při pokojové teplotě ozonid draselný okamžitě reaguje s vodou anebo kyselinami.

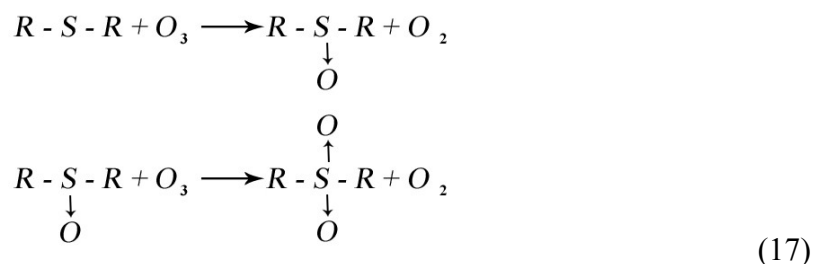
Naopak podle jiných teorií jsou ozonidy alkalických kovů tvořeny přes nestabilní komplex typu  $\text{M}^+\text{O}^-\text{H}^+\text{O}_3^-$  formou další reakce s ozonem. Ozonid lithný ( $\text{LiO}_3$ ) například nemůže být vyroben v čistém stavu. Ozonidy jiných alkalických kovů jsou tvořeny zpravidla z jejich suchých hydroxidů prostřednictvím reakce se směsí ozonu a kyslíku při teplotě nižší než 273 K.

Při nízkých teplotách lze podrobit oxidy alkalických zemin účinku ozonu, získáme tak barevné sloučeniny, jejichž povaha je nejistá. Například, když vystavíme účinku ozonu uhličitán vápenatý rozpuštěný v kapalném amoniaku, vznikne ozonid amonný a nikoliv ozonid tvořený s vápníkem: [9]

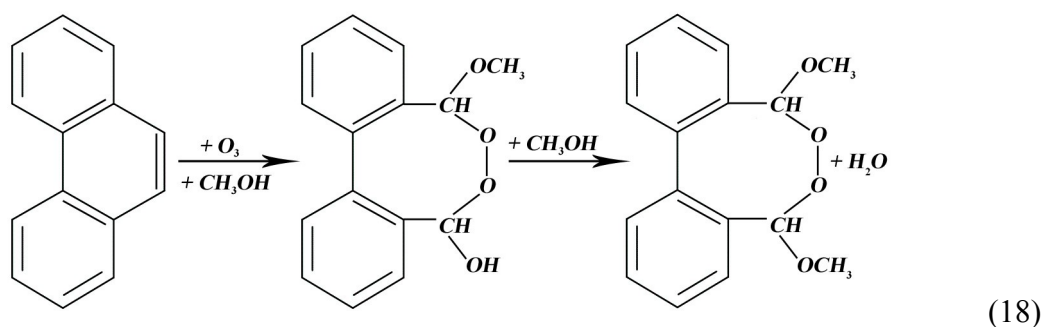


Ozon může reagovat třemi různými způsoby s organickými sloučeninami, přičemž v mnoha případech vznikají jako meziprodukty ozonidy.

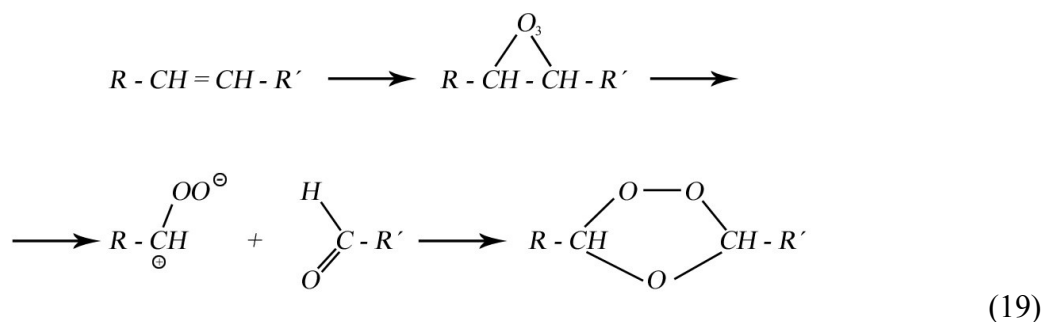
Oxidace, zejména při vysokých koncentracích ozonu může vést až k tvorbě  $\text{CO}_2$  či  $\text{H}_2\text{O}$ . Obvyklá koncentrace ozonu vede ke vzniku látek, které obsahují více kyslíku, nebo méně vodíku z původní molekuly. Například thioethery jsou oxidovány na sulfony se vznikem sulfoxidovým meziproduktem: [9]



Podobně jsou tvořeny aminoxidy z terciálních aminů, které byly vystaveny působení ozonu. Nasycené uhlovodíky reagují jen velmi pomalu s ozonem při pokojové teplotě, avšak dojde-li ke zvýšení teploty tak peroxidy, aldehydy, ketony, alkoholy a kyseliny reagují s ozonem poměrně rychle. Působením ozonu jsou peroxidy tvořeny na některých kondenzovaných jádrech sloučenin. Například fenantren reaguje s ozonem v metanolu následujícím způsobem: [9]



Ozon reaguje s alkeny, alkyny a jejich deriváty charakteristickým způsobem a tyto reakce probíhají za různých podmínek a různými způsoby. R. Criegee navrhl mechanismus pro popis reakcí probíhajících v neutrálních roztocích, kde nestabilní primární ozonid je nazván molozonid. V následujícím reakčním schématu znázorňuje zjednodušeným způsobem rozdělení molozonidu na bipolární vázaný iont a na složky obsahující karbonylovou skupinu: [9]



Ozonidy jsou stabilní pouze při nízkých teplotách a v neutrálním prostředí. Pokud ozonidy vstoupí do reakce s vodou, kyselinami, nebo zásadami a také s polárními organickými sloučeninami, dojde k rozdělení ozonidu na dvě části v místě původní dvojné vazby, respektive dojde k ozonolýze. Ozonolýza je štěpení molekul a vyskytuje se v kombinaci s tvorbou ozonidů a probíhá ve vodném prostředí.

Obecně platí, že ozon neochotně reaguje s aromatickými uhlíkovými vazbami oproti oleofinickým dvojným vazbám, přičemž substituenty reakci umožňují. Jednoduché aromatické nebo heterocyklické sloučeniny se ozonem převedou na karboxylové kyseliny, dikarboxylové kyseliny, dialdehydy, atd., které obsahují nižší počet uhlíkových atomů pomocí oxidačního rozkladu. V tomto reakčním mechanismu také probíhá ozonolýza. Prostřednictvím vlivu ozonu vzniká jako první ozonid, který je následující reakcí rozložen na konečné produkty reakce. Příkladem si lze uvést ozonolýzu furanu při teplotě 213 K, kde konečnými produkty reakce je karbonylová sloučenina glyoxal a kyselina mravenčí. [9]

#### **2.4.4 Interakce ozonu s různými (chemickými) látkami**

Pro materiály, které jsou vystaveny působení ozonu, prakticky platí dvě úvahy. První úvaha se zabývá faktem, do jaké míry ozon napadá daný materiál a druhá úvaha se zabývá velikostí účinku vyvolaného materiálem na ozon. Přičemž materiál sám o sobě podporuje anebo napomáhá k urychlení rozkladu ozonu. V této kapitole bude uvedeno několik příkladů skupin materiálů používaných v běžné praxi.

Většina kovů je vlivem působení ozonu silně oxidována a kovy samotné podporují ve většině případů rozklad ozonu. V některých reakcích kovy slouží jako katalyzátory. Za dobré katalyzátory lze považovat například železo, zinek, rtuť, platinu a stříbro. Podle G. I. Yemelyanova jsou drahé kovy jako katalyzátory velmi aktivní při nízkých teplotách. Zkoumáním jednotlivých kovů v interakci s ozonem bylo zjištěno, že ze všech kovů čistý hliník má nejmenší katalyzující účinky při nízkých koncentracích ozonu a teplotě 373 K. Hliník má také při nízkých teplotách vliv na stabilitu kapalně směsi kyslíku a ozonu. Kromě hliníku při pokojové teplotě a koncentraci ozonu 7 procent není rozklad ozonu ovlivněn kovy, jako jsou čisté olovo, měď a cín. Pro aplikace zahrnující nízké teploty a vysoké koncentrace ozonu je jako konstrukční materiál používaná nerezová ocel.



Pro nádoby a potrubí, které jsou vystaveny působení ozonu je jako materiál ideální sklo. Sklo vyniká svou chemickou odolností a stabilitou vůči ozonu, avšak nese nevýhody díky své nízké pevnosti a nedostatku pružnosti, čímž je používání skla omezené. Pro aplikace kde je nutno využívat vyššího mechanického zatížení a zvýšení koncentrace ozonu se používá sklo lemované ocelí.

Adsorbenty, jako je aktivní uhlí, molekulová síta, silikagel, oxid hlinitý, atd., působí jako silné katalyzátory podporující rozklad ozonu při pokojové teplotě. Katalytický účinek molekulových sít je v praxi možné využít pro odstranění a zabránění rozkladu ozonu z doprovodných plynů obsahujících ozon.

Oxidy železa, kobaltu, niklu stříbra a manganu jsou velmi aktivními katalyzátory. Čistý CuO na ozon nemá žádný praktický vliv. Aktivita těchto katalyzátorů je silně závislá na jejich krystalické struktuře, přítomnosti a distribuci vlhkosti a dalších faktorech.

Materiály z pryže určené pro těsnění nebo potrubí obecně aktivně reagují s ozonem a mohou dokonce hořet v plamenech, pokud jsou v kontaktu se směsí, která obsahuje velkou koncentraci ozonu. Pryžové komponenty, jako je těsnění, jsou velmi citlivé na ozon při mechanickém namáhání. Vlivem ozonu a mechanického namáhání dochází ke křehnutí a rozkladu pryžového materiálu.

Pro komponenty jako je těsnění, potrubí a běžné konstrukční materiály je vhodnější používat plasty. Například fluorované polymery vynikají odolností vůči působení ozonu a nedostatkem katalytické činnosti pro rozklad ozonu. Pro aplikace s vysokou koncentrací ozonu je vhodnější použít PTFE a polydichlorodifluoroethylen. PVC a PE lze použít jako materiál pro komponenty v aplikacích se sníženou koncentrací ozonu.

Tam kde je nutno v zařízení použít maziva, je vhodné využít fluorovaná uhlovodíková maziva, která mají dobrou odolnost vůči působení ozonu. Běžná maziva nesmí přijít do kontaktu s ozonem.

Plně halogenované uhlovodíky s nízkou molekulovou hmotností a s alespoň jedním atomem fluoru se nejvíce hodí pro využití jako inertní rozpouštědlo ozonu. Takovéto inertní rozpouštědlo nereaguje s ozonem za teploty nižší jak 253 K a nemá tak katalytický vliv na rozklad ozonu.

Chemické látky v podobě barviv používaných v textilním průmyslu (azobarviva – např. Orange II, Acid Red 27, Acid Orange 7, kypová barviva - indigo) reagují s ozonem. Ozon je schopen reagovat s dvojnými vazbami těchto barviv a dochází tak k jejich následnému rozkladu. Velké využívání syntetických barviv je důvodem

k obavám z hlediska životního prostředí, jelikož barviva se jeví jako toxická a karcinogenní. Textilní průmysl produkuje velké množství odpadních vod, které mimo jiné obsahují také barviva. Vzhledem k reaktivitě ozonu s některými textilními barvivy je ozonizace textilních odpadních vod, respektive odstraňování barviv pomocí ozonu, předmětem zkoumání. [9], [25], [26]

## 2.5 Generování ozonu

Vzhledem k tomu, že ozon nelze delší dobu skladovat, díky jeho vysoké reaktivitě, je nutné ozon generovat přímo na místě jeho užívání. K tomu slouží generátory ozonu. Základním předpokladem pro vytvoření příslušné koncentrace ozonu je přítomnost atomového kyslíku nebo kyslíku obsahující volné radikály, případně přítomnost excitovaných molekul kyslíku. Nejčastěji se ozon připravuje technologií založenou na elektrickém výboji (koronový proces) a nebo fotochemicky (UV záření). Existují však i další způsoby, kterými lze připravit ozon – elektrochemická metoda (elektrolýza vodného roztoku), chemická metoda, termická metoda a chemonukleární metoda. [9]

### 2.5.1 Generování ozonu elektrickým výbojem (koronový proces)

V plynném prostoru mezi dvěma elektrodami jsou vždy přítomny volné elektrony, které jsou urychlovány působením rozdílu potencionálu mezi elektrodami a elektrickým polem. Rychlost elektronů je závislá na délce dráhy jejich pohybu. V průběhu pohybu elektronů po své dráze dochází k dalšímu vytváření iontů vlivem nepružných srážek s atomy. K reakci dojde, když volný elektricky nabitý elektron rozdělí molekulu kyslíku:



Následuje tvorba ozonu, kde  $M$  je libovolná molekula v plynu:

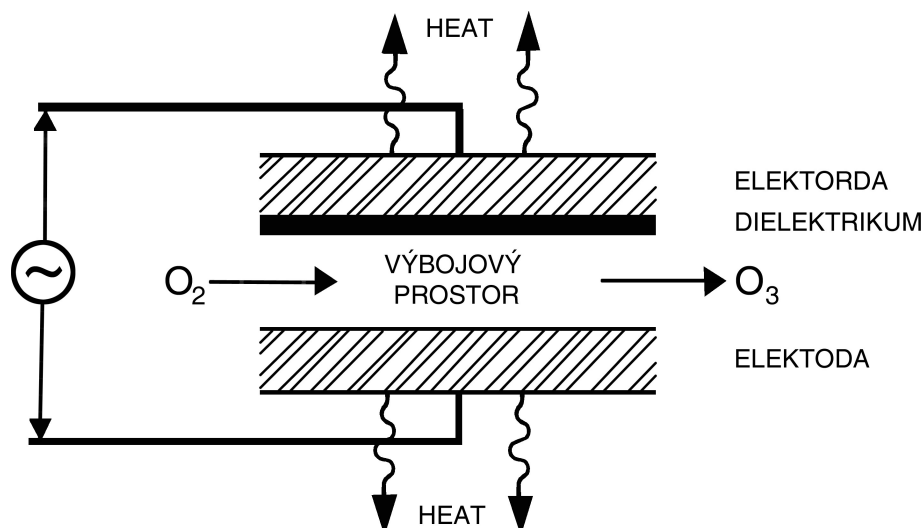


Ve stejné době také dochází k reakci atomového kyslíku a elektronů s ozonem za vzniku kyslíku:



Když se v prostoru mezi elektrodami vytvoří dostatečné množství iontů plynu a zároveň se na elektrodách naakumuluje dostatečné množství náboje, dojde k iniciaci elektrického výboje vlivem působení napětí. Během elektrického výboje se plyn stává vodivým a mezi elektrodami tak začne protékat proud. [9], [10]

Zvýšením hustoty proudu nejprve dojde k vyvolání tzv. temného výboje, který se vyznačuje nízkou elektronovou rychlostí a následně temný výboj postupně přejde do světelného tzv. tichého výboje. Dalším zvýšením hustoty proudu a zvýšením napětí prudce stoupá koncentrace iontů plynu, což nutí plynové ionty nejen k reakci s molekulami ale také k reakci mezi sebou. Díky těmto reakcím ionty plynu emitují záření. Tento jev z počátku probíhá v přední části elektrod, kde převládá maximální intenzita pole a na elektrodách se tak začne vyvíjet slabě svítící výbojová vrstva, tzv. koronový výboj. Působením nárazů iontů se brzy celý elektrodový prostor ionizuje a náhle změní vodivost, respektive dojde k vytvoření jiskry. Pokud probíhá mezi elektrodami relativně vysoký proud s nepřetržitým výbojem, hovoříme o tomto jevu jako o obloukovém výboji. Obecně platí, že oblouk je lokalizovaný výboj produkující vysokou teplotu a jasné bílé světlo. Obrázek 2 znázorňuje typické schéma korony, kde je korona složena ze dvou kovových elektrod. Prostor mezi kovovými elektrodami je naplněn proudícím plynem (kyslíkem). Na elektrody je přiváděno vysoké napětí a mezi elektrodami je tak vytvořen výbojový prostor. Většina elektrické energie, která je vložena na vstupu do korony se rozptýlí ve formě tepla s doprovázejícím malým množstvím světla, zvuku a chemických reakcí. [9], [10]



Obr. 2 Schéma korony [10]

Jednotlivé formy výboje jsou ovlivněny elektrickými a jinými parametry:

- druh aplikovaného napětí (stejnosměrné nebo střídavé)
- velikost napětí
- frekvence napětí
- vzdálenost mezi elektrodami
- druh a materiál elektrod
- plyn v prostoru mezi elektrodami
- stav plynu (tlak, teplota)

Z praktického a ekonomického hlediska generování ozonu nejlépe poskytuje vysokonapěťový tichý výboj a to bez jiskry a jiných dalších viditelných jevů. Tichý výboj má nejnižší vodivost. V porovnání s jiskrovým a obloukovým výbojem má tichý výboj nejchladnější prostor okolo výboje. Generátory s koronovým výbojem využívají chlazení, například vodou či vzduchem. [9], [10]

### 2.5.2 Generování ozonu fotochemickou metodou (UV záření)

Fotochemická metoda je generování ozonu pomocí UV záření, kdy dochází k disociaci kyslíku, nebo k disociaci jiných molekul obsahujících kyslík. Energetický stav atomů je závislý na vlnové délce absorbovaného záření. Disociací dochází k tvorbě volných atomů kyslíku, které jsou nutné pro vznik ozonu. Jako zdroje UV záření se

používají UV lampy (xenonová výbojka, nízkotlaká rtuťová lampa, výbojka plněná vodíkem).

Vznik ozonu z kyslíku pomocí fotochemické metody není ovlivněn teplotou. Avšak jakmile dojde k tvorbě ozonu a jeho následnému rozkladu, dochází ke zvýšení teploty.

Fotochemická metoda může využívat jevu, ke kterému dochází na površích kovů, s oxidy kovů a s kovovými solemi. Například, je-li záření o vlnové délce 253,7 nm zaměřeno na povrch rtuti, kde také prochází kyslík, dochází k reakci tvořící ozon. Tento jev je ukázán na rovnici 23, kde excitované atomy a molekuly jsou označeny \*.

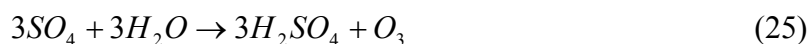


Tato metoda však disponuje nízkou účinností a ve srovnání s koronovou metodou je příliš drahá. Fotochemická metoda je však vhodná, díky snadné regulaci rychlosti produkce ozonu a řízení energie zdroje záření, pro produkci ozonu v malém množství. Tudíž je tato metoda hlavně využívána pro laboratorní účely, či pro eliminaci zápachu. [9], [10], [11]

### 2.5.3 Generování ozonu elektrolytickou metodou

Elektrolytická metoda spočívá v tvorbě ozonu pomocí vodných elektrolytů (vodné roztoky kyselin a zásad obsahující kyslík). Elektrolytickou metodou lze získat čistější ozon o vyšší koncentraci. Tato technologie poskytuje velmi vysokou účinnost (>35%), čímž je schopna konkurovat velmi užívané technologii generování ozonu elektrickým výbojem (korona). Elektrolytická metoda však spotřebovává mnohem více energie než metoda generování ozonu elektrickým výbojem.

Mechanismus elektrolytické metody lze popsat na elektrolýze roztoku kyseliny sírové, kde ozon vzniká na anodě. Při elektrolýze dochází k disociaci kyseliny sírové na záporně nabitý kyselý radikál, který na anodě ztrácí elektrony, viz rovnice 24. V rovnici 25 je popsán vstup kyselého radikálu do reakce s vodou a vzniká tak ozon. Přičemž během reakce je nutné chlazení anody, na které vzniká ozon.



Výroba ozonu pomocí elektrolýzy zásad je tvořena při nízkých teplotách. V mechanismu elektrolýzy zásad je potenciál náboje hydroxylových iontů menší než kyselých iontů. Pomocí hydroxylových iontů vznikají atomy a molekuly kyslíku a následně vysoký potenciál anody způsobuje tvorbu ozonu. [9], [11]

#### 2.5.4 Generování ozonu chemickou metodou

Z chemického hlediska existuje mnoho chemických metod pro tvorbu ozonu, jelikož ozon je tvořen ve všech reakcích, na kterých se podílí vzduch nebo kyslík. Chemickou metodou vzniká ozon jako vedlejší produkt konkrétních chemických reakcí, tudíž ozon vzniká jen ve velmi malém množství. Ozon je tvořen například reakcí některých peroxidových sloučenin s kyselinami, rozkladem oxidů kovů nebo kovových peroxidů, interakcí fluoru s vodou nebo vodným roztokem elektrolytu. Tato metoda není vhodná pro průmyslovou výrobu ozonu.

Avšak některé studie ukazují, že slibnou alternativou pro tvorbu ozonu by mohla být elektrochemie. Elektrochemická metoda umožňuje možnosti tvorby ozonu, které není možné dosáhnout elektrickým výbojem (korona). Elektrochemická metoda poskytuje výrazně nižší investiční náklady na produkci ozonu než tradiční koronová metoda, přičemž dokáže vyprodukovat vyšší koncentraci ozonu. [9], [11]

#### 2.5.5 Generování ozonu termickou metodou

Reakční mechanismus termické metody je podobný jako u tvorby ozonu tichým elektrickým výbojem (korona) a fotochemickou metodou. Termická metoda tvorby ozonu je silně závislá na vysoké teplotě. Jelikož rozklad ozonu je ovlivněn teplotou, je v případě termické metody nutné vytvořený ozon stabilizovat snížením teploty. Termická metoda také není vhodná pro průmyslovou výrobu ozonu. [9]

## 2.6 Analytické metody pro stanovení koncentrace ozonu

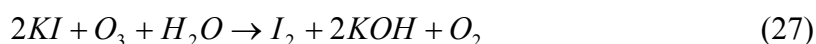
Stanovení koncentrace ozonu se využívá v různých oblastech. Využití stanovení koncentrace ozonu lze nalézt například při stanovení množství ozonu v zemské atmosféře, v produktech, které v malém měřítku vytváří ozon, při průmyslové produkci ozonu, atd. V rámci různého využití stanovení koncentrace ozonu bylo vyvinuto mnoho metod pro analytické stanovení ozonu. Nejužívanější metody stanovení koncentrace ozonu v plynné fázi lze rozdělit na dvě skupiny – chemické metody a fotochemické metody. Pro stanovení koncentrace ozonu ve vodě se používá kolorimetrická metoda s využitím indiga. Všeobecně nejužívanější metody stanovení koncentrace ozonu jsou jodometrická titrace (chemická metoda) a fotochemická metoda založená na absorpci UV záření. V této kapitole budou uvedeny nejpoužívanější metody pro stanovení koncentrace ozonu v zastoupení chemických a fotochemických metod. [9], [12]

### 2.6.1 Chemické metody stanovení koncentrace ozonu

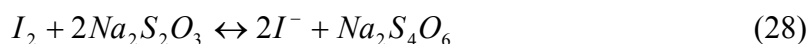
#### Jodometrická titrace

Jodometrická titrace je nejstarší metoda pro stanovení koncentrace ozonu. Tato analytická metoda je založená na reakci ozonu s jodidem draselným a její velkou výhodou je přesné absolutní stanovení koncentrace ozonu. Jodometrickou titraci lze využít pro stanovení nízké nebo vysoké koncentrace v plynné fázi. Nedovoluje ovšem provádět průběžná měření.

Jodometrická titrace je vždy založená na základě rovnice 26, přičemž v praxi se jedná o reakci ozonu s roztokem alkalického jodidu (viz rovnice 27), při které se z jodidu vyloučí jod a roztok zabarví do žluté až hnědé barvy.



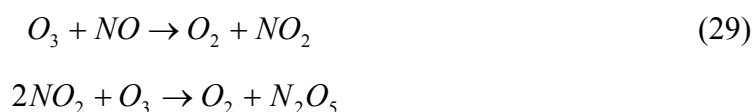
K vyloučení jodu dochází zejména ve vysokých koncentracích ozonu a množství uvolněného jodu se následně stanoví titrací thiosíranem sodným v kyselém prostředí:



Redukce jodu na jodid se projeví odbarvením žlutohnědého roztoku. Pro lepší citlivost reakce se používá před koncem titrace škrobový roztok, který zbarví titrovaný roztok do modra. Z porovnání rovnic vyplývá, že jedna molekula ozonu odpovídá dvěma molekulám  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . [9], [12]

### **Titrace v plynné fázi**

Titrace v plynné fázi je metoda založená na kvantitativní reakci ozonu s oxidem dusným. Tato reakce probíhá ve dvou krocích:



První reakce (29) má 260 krát vyšší rychlost než druhá reakce. Tento proces byl poprvé popsán B. E. Saltzmanem a N. Gilbertem jako metoda stanovení ozonu v atmosférickém vzduchu. Vzorek vzduchu se smíchá se směsí NO a  $\text{N}_2$  v reaktoru z nerezové oceli za nízkého tlaku. Reakční směs je stechiometrická, tudíž jedna molekula  $\text{O}_3$  se spotřebuje pro každou molekulu NO a oxiduje na  $\text{NO}_2$ . Oxid dusičitý, tvořící se v ekvivalentním množství k ozonu, je absorbován v N-(1-naftyl)-ethylendiamintetraoctové kyselině a vzniká tak fialová sloučenina. Výsledný pokles koncentrace ozonu se stanovuje pomocí metody UV absorpce a je rovna původní koncentraci NO v proudu plynu, za předpokladu, že byl dostatek času pro dokončení reakce.

Titrace v plynné fázi se spíše používá pro stechiometrii chemických reakcí zahrnující ozon. Titrací v plynné fázi byla zkoumána přesnost jodometrické metody. [9], [12], [13]

### **Chemická metoda stanovení koncentrace ozonu s využitím indiga**

Tato metoda byla vynalezena ve Švýcarsku roku 1978. Jedná se o chemickou metodu stanovení koncentrace ozonu v pitné a odpadní vodě. K této metodě je využíváno modré indigové barvivo (trisulfonát), které při reakci s ozonem ztrácí svou modrou barvu, respektive dochází k reakci s dvojnou vazbou indiga. Tato metoda je užitečná pro svou jednoduchost a rychlost. Intenzita zabarvení roztoku je nepřímo úměrná množství ozonu. Odbarvování indiga vlivem ozonu má za následek lineární



pokles absorbance se zvyšující se koncentrací ozonu. Koncentrace ozonu se stanovuje následně fotometrem (kolorimetr, spektrofotometr) při vlnové délce 600 nm. Chemická metoda stanovení koncentrace ozonu s využitím indiga se aplikuje tam, kde nemůže být použita metoda absorpce záření v UV oblasti. [14], [15]

## 2.6.2 Fotochemické metody stanovení koncentrace ozonu

### Absorpce záření v UV oblasti

Absorpce záření v UV oblasti je nejpoužívanější fotochemická metoda, která je založená na absorpci UV záření při průchodu látkou. Tato metoda byla vyvinuta hlavně pro měření koncentrace ozonu ve vzduchu. Jelikož, je UV záření při vlnové délce 254 nm absorbováno pouze ozonem a nikoliv vzduchem či vodou, je také možné tuto metodu využít pro stanovení ozonu rozpuštěného ve vodě.

Vzorek vzduchu je nasáván do optické absorpční buňky, kde je ozařován. Jako zdroj UV záření se používá rtuťová výbojka. Fotodetektor, který se nachází na opačném konci buňky, měří snížení intenzity UV záření při vlnové délce 254 nm. Intenzita UV záření je snížena přítomností ozonu ve vzorku vzduchu. Schopnost částice pohlcovat záření o dané vlnové délce je charakterizováno absorpčním účinným průřezem  $\sigma(\nu)$  nebo absorpčním koeficientem  $k(\nu)$ . Absorpční účinný průřez je definován absorpčním zákonem (Lambert-Beerův zákon): [12], [15], [16]

$$I(\nu) = I_0(\nu)e^{-\sigma(\nu)N} \quad (30)$$

kde  $I_0$  je intenzita dopadajícího záření na absorbující sloupec plynu,  $I(\nu)$  je intenzita prošlého záření,  $\sigma(\nu)$  je absorpční účinný průřez a  $N$  je počet absorbujících částic nacházejících se ve válci se základnou o ploše  $1 \text{ cm}^2$ . Účinný průřez se udává v jednotkách Megabarn (Mb), přičemž platí  $1 \text{ Mb} = 10^{-18} \text{ cm}^2$ . [12]

Pro absorpční koeficient platí:

$$I(\nu) = I_0(\nu)e^{-k(\nu)l} \quad (31)$$

kde  $l$  je dráha, kterou prošel paprsek v daném prostředí. Vztah mezi účinným průřezem a absorpčním koeficientem se určí pomocí Loschmidtova čísla  $N_0 = 2,687 \cdot 10^{19}$

molekul.cm<sup>-3</sup>. Loschmidtovo číslo udává počet molekul nacházejících se v jednom cm<sup>3</sup> za normálních podmínek ( $T_0 = 273,15$  K,  $p_0 = 101325$  Pa). [12]

V případě, že je potřeba určit absorpci záření v prostředí, které se nenachází za normálních podmínek, ale má teplotu  $T$  a tlak  $p$ , je nutno dosadit místo skutečné dráhy paprsku  $l$  do Lambert-Beerova zákona tzv. redukovanou tloušťku  $x$ : [12]

$$x = \frac{pT_0}{p_0T} l \quad (32)$$

### **Chemiluminescenční a fluorescenční metoda**

První chemiluminescenční metodu vyvinul V. H. Regner. Jeho metoda byla založená na emisi chemiluminescenčního světla rhodaminu B zprostředkovaného vlivem působení ozonu. Přístroje využívající chemiluminescenční metodu však nejčastěji využívají chemiluminescenční reakce ethylenu s ozonem a slouží převážně ke stanovení NO a NO<sub>x</sub>. Tuto metodu je také možné využít ke stanovení koncentrace ozonu v plynné fázi, kdy je emitováno chemiluminescenční záření s intenzitou úměrnou koncentraci ozonu za předpokladu, že NO je v přebytku. Tato metoda je založená na reakci:



kde záření se pohybuje v oblasti mezi 300 až 600 nm a má maximum při vlnové délce 435 nm.

Pro stanovení koncentrace ozonu lze také využít fluorescenční metodu. U fluorescenční metody se využívá reakce akridinu s ozonem. Akridin absorbuje UV oblasti a emituje fluorescenční záření s maximem při 482 nm. [9]

## **2.7 Praktické využití ozonu**

Ozon nachází uplatnění v mnoha odvětvích a jeho hlavní využitelnou vlastností jsou silné oxidační schopnosti. Ozon je po praktické stránce velmi využíván v sterilizaci a desinfekci, přičemž v tomto případě je 3000-krát rychlejší než chlór, 25-krát efektivnější než kyselina chloritá, 2500-krát než chlornan a 5000-krát než chloramin. Prakticky neexistuje žádný virus či bakterie odolávající ozonu. Ozon likviduje veškeré

mikroorganismy během několika sekund. Na rozdíl od chloru při sterilizaci a dezinfekci není nutná přítomnost amoniaku a není tak ovlivněna hodnota pH. Ozon rozkládá organické a anorganické toxické látky ve vodě na méně škodlivé složky, které pak lze jednoduše odstranit. Ozon oxidací likviduje vysokomolekulární sloučeniny, chlorované bifenylly, organické sloučeniny, jedovaté aromatické látky, kyanidy, fenoly, síru, železo a mangan. Ozon lze využít k rozrušení zápachajících látek, respektive k redukci zápachu a chuti, díky jeho silnému dezodorizačnímu efektu. Ozon disponuje schopností deaktivovat karcinogeny. Vysoká rozpustnost ozonu v tekutinách a jeho krátký poločas rozpadu umožňuje vysoké syčení kyslíkem. [1]

### **Využití ozonu ve zdravotnictví**

Medicína ozon začala postupně využívat už na začátku 20. století a postupem času bylo zjištěno, že vlastnosti ozonu mají pozitivní vliv na léčbu mnoha onemocnění. Dnes se ozon využívá v lékařské praxi například pro léčbu poruch prokrvení (směs  $O_2$  a  $O_3$ ), virových, bakteriálních a mykotických onemocnění, k aktivaci imunitního systému, pro léčbu a prevenci infekčních onemocnění. Ozon má také vliv na nádorová onemocnění. A v poslední době se začíná rozmáhat využití ozonu ve stomatologii.

Ozon ve zdravotnictví lze využívat nejen k léčebným metodám, ale také k ošetření prostorů, kde je zvýšené riziko přenosu infekcí. Jedná se v tomto případě hlavně o prostory, jako jsou čekárny, sklady, operační sály, technické provozy, laboratoře, ale také prostory sanitky. [1]

### **Využití ozonu pro ošetření bazénové vody**

V případě ošetření bazénové vody nachází ozon velké uplatnění a posouvá tak využívání chlóru k ošetření vody do pozadí. Oproti chlóru má ozon mnoho výhod. Ozon oproti chlóru přímo rozkládá organické odpady oxidací, napomáhá flokulaci organických odpadních materiálů a tím zvyšuje účinnost filtrace, řádně rozpuštěný zbytek ozonu zajišťuje 100% zničení bakterií, virů a fungicidů, brání vytváření kotelního kamene a čistí a odstraňuje tukové usazeniny na stěnách bazénů, a nespotřebovaný ozon se rozloží a oddělí v odplynovací nádrži, čímž nezanechá žádné toxické zbytky, oproti chlóru, který se uvolňuje v plynné toxické formě nad vodní hladinou. [1], [17]

## **Využití ozonu pro budovy**

Moderní technologie aplikované při stavbách nových budov způsobují tzv. syndrom nezdravých budov. Nové budovy jsou projektovány a následně stavěny s vysokým stupněm izolace za snížení energetické náročnosti, což má za následek zamezení přirozené výměny vzduchu v budově. Pro vnitřní vybavení interiérů budov jsou používány syntetické materiály, ze kterých se samovolně uvolňují ředidla a jiné nežádoucí látky. Kombinace těchto zmíněných aspektů má negativní vliv na zdravý člověka. Toxicita ovzduší způsobuje zdravotní potíže typu podráždění očí, nosu a hrtanu, ucpaní nosních dutin, bolení hlavy, horečka, krátkost dechu, točení hlavy, žaludeční nevolnost, neklid, alergické reakce, kýchání, suchý kašel a únava. Dlouhodobé účinky toxicity ovzduší způsobují například rozedmu plic, astma a jiné nemoci dýchacích cest, alergické reakce sliznice nosní, chřipku, zápal plic, srdeční nemoci a rakovinu. V případě syndromu nezdravých budov je možné využívat právě ozon k eliminaci toxicity ovzduší a vytvářet tak za jeho pomoci „čerstvý vzduch“. V domácnostech lze ozon využít k eliminaci (oxidaci) nepříjemných zápachů jako jsou ředidla, zápachy po vaření, cigaretový kouř, zápach ze zvířat, odpadků, plísň atd. [1]

## **Využití ozonu v automobilech**

V automobilech ozon nachází uplatnění z hlediska odstraňování nežádoucího zápachu uvnitř automobilů. Nežádoucí zápachy v automobilu mohou být způsobeny například klimatizačním systémem, jehož kondenzát vytváří ideální prostředí pro růst bakterií uvnitř vozu, nebo vlivem vlhkosti či pronikání vody do automobilu, což má za následek tvorbu plísni doprovázené nežádoucím zápachem. Zápachy lze snadno oxidovat, a proto rychle reagují s ozonem. Ozon je schopný likvidovat všechny zápachy tvořící bakterie, fungicidy, kvasnice a viry, čímž v tomto případě slouží jako dezinfekční prostředek. [1]

## **Využití ozonu v prádelnách**

Vynikajícího čistícího efektu lze dosáhnout využitím směsi čisté a studené vody s rozpuštěným ozonem. Tato směs se využívá pro praní bílých a jednobarevných textilií a je nejvhodnější zejména pro prádelny v nemocnicích, hotelech, věznicích apod. Směs studené vody a ozonu je schopná odstranit většinu patogenních bakterií. Ozon ve studené vodě odstraňuje střední znečištění. Použití studené vody eliminuje náklady na

ohřev vody pro praní. Zároveň odpadní voda po praní prádla s ozonem nemění pH vody a neobsahuje škodlivé látky, tudíž tak splňuje ekologické limity. [1]

### **Využití ozonu pro čištění vod**

Ozonová zařízení se používají pro čištění odpadních vod, v domácích, komunálních a průmyslových odpadních systémech, při zpracování tekutého odpadu z potravinářských provozů a při čištění průmyslového toxického odpadu. Ozonem lze dosáhnout buď snížení biologického odpadu, nebo úplného vyčištění a asanace odpadní vody. [1], [17]

### **Využití ozonu pro odstraňování následků povodní**

Během záplav dochází k zatopení budov a voda obsahující bakterie se tak dostává do zdí, nosných trámů a základů budov. Patogenní mikroorganismy jsou schopné přežít i úplné vysušení ve formě spor, a jakmile se obnoví normální vlhkost v budovách zasažených povodněmi, mikroorganismy ožijí a mohou začít ohrožovat lidské zdraví. Ozon v tomto případě se využívá k likvidaci patogenních mikroorganismů, které je schopen zcela zahubit. [1]

### **Využití ozonu pro obnovu jezer a rybníků**

Pro obnovu jezer a rybníků se ozon používá pro oxidaci kontaminované vody. Přidáním malého množství ozonu docílíme toho, že usazená organická hmota na dně rybníku či jezera se začne rozkládat a dochází tak k obnově aerobních rozkladných procesů. [1]

### **Využití ozonu v masokombinátech**

Využití ozonu v masokombinátech má pozitivní vliv na odstranění bakterií (Salmonela, Lysteria) a jejich asanaci. Ozon je ideálním prostředkem k dosažení úplné dezinfekce v krátkém čas, který je dán výrobními dopravníky. V masokombinátech ozon nahrazuje chlór, který reaguje s masem a vytváří tak vysoce toxické a karcinogenní sloučeniny. [1]

### **Využití ozonu při zpracování ovoce a zeleniny**

Při zpracování ovoce a zeleniny se ozon používá jako dezinfekční prostředek odstraňující bakterie. V potravinářském průmyslu všeobecně ozon pomáhá řešit problémy s kontaminací mykotoxiny a rezidua pesticidů. [18]

### **Využití ozonu ve stáčírnách a v plnárnách**

Stáčírny a plnárny využívají ozon k proplachování lahví, čištění a dezinfekci zařízení, jako jsou například stroje na zpracování mléka. Dávkování ozonu v místě plnění zabraňuje výtrusům bakterií, ukrytých na plastových stěnách lahví, které by mohly následně znehodnotit celý produkt. [1]

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

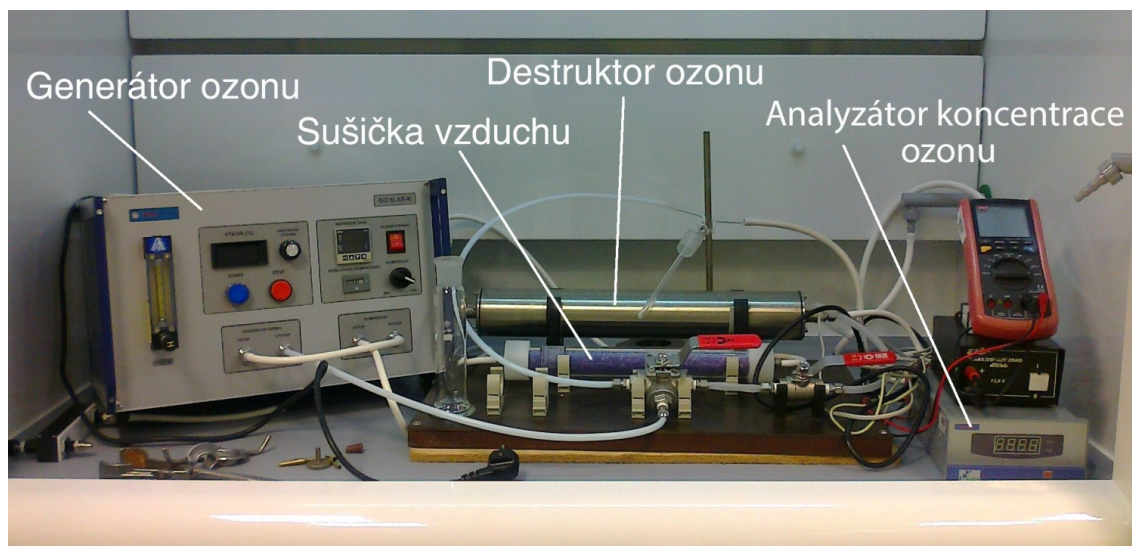
Experimentální část této diplomové práce se zabývala využitím vlivu působení ozonu pro textilní aplikace. Předmětem experimentální části bylo zjistit jaký má vliv působení ozonu na textilní materiály a následně prozkoumat vliv působení ozonu na vlastnosti testovaných textilních materiálů. Dále byl zkoumán vliv působení ozonu na azobarvivo (Oranž II) používané v textilní praxi a vliv působení ozonu na odbarvování textilních materiálů.

Pro všechny experimenty bylo využito působení ozonu při různých reakčních parametrech (tj. doba působení ozonu, výkon generátoru ozonu, průtok ozonu, použitý textilní materiál).

### 3. Použité přístroje a pomůcky

#### 3.1 Zařízení pro generování ozonu a měření koncentrace ozonu

Zařízení pro generování a měření koncentrace ozonu je sestaveno ze dvou hlavních přístrojů – generátor ozonu (Triotech Go-5labK) a analyzátor koncentrace ozonu (LF2000). Ozon potřebný pro testování vzorků je vyvíjen generátorem ozonu a hadičkami je ozon veden ke vzorku umístěný v testovací nádobě (promývací lahev, plastová nádoba). Z testovací nádoby je ozon dále veden k analyzátoru koncentrace ozonu. Pro regulaci prošlého ozonu skrz vzorek slouží páky, regulující směr proudícího ozonu zařízením, respektive ozon lze vést hadičkami přímo ke vzorku a nebo mimo vzorek. Zařízení je propojeno s tzv. sušičkou vzduchu naplněnou silikagelem a s destruktozem ozonu. Silikagel v sušičce vzduchu pohlcuje vlhkost. Destruktor ozonu je naplněn granulovaným aktivním uhlím a slouží k destrukci přebytečného ozonu. Celé zařízení pro generování ozonu a měření koncentrace je umístěno v digestoři. [19], [20]



Obr. 3 Experimentální uspořádání zařízení pro generování ozonu a měření koncentrace ozonu

### 3.1.1 Generátor ozonu - Triotech Go-5labK

Technické parametry přístroje: [19]

- produkce ozonu při vstupu  $O_2$  – 0,1-5,76 g  $O_3$ /h
- koncentrace ozonu při vstupu  $O_2$  – 32-60 mg  $O_3$ /l
- řízení výkonu – 20-100 %
- napájení – 230 V/50 Hz
- příkon GO – 80 VA
- příkon generátoru kyslíku – 230 W
- příkon kompresoru – 350 W
- požadavky na napájení – 230 V, 50 Hz, 3,8A

Generátor ozonu GO 5LAB-K je určen k výrobě ozonu pro laboratorní účely. Generátor ozonu tvoří blok generující ozon, vysokonapěťový zdroj s regulací a kompresor odolný ozonu, který může fungovat jako kompresor nebo vývěva. Všechna zařízení jsou umístěna v hliníkové přístrojové skříni. V pravé části skříně je umístěn kompresor s odpruženým rámem. V levé části se nachází vysokonapěťový zdroj s regulací a generátor generující ozon, který je chlazen vzduchem prostřednictvím ventilátoru. Ovládání a nastavení generátoru ozonu se provádí prostřednictvím potenciometru „nastavení výkonu“ a průtokoměru se škrtícím ventilem. [19]





*Obr. 4 Generátor ozonu Triotech Go5-labK*

### 3.1.2 Analyzátor koncentrace ozonu - LF2000

Technické parametry přístroje [17]:

- rozsah měření – 0-200 mg/l
- rozlišení displeje – 0,1 mg/l
- přesnost měření – 3 %
- tlak měřeného plynu – max 1 bar
- napájení – 230V, 50Hz
- průtok plynu na vstupu –  $1,0 \pm 0,3$  l/min

Analyzátor koncentrace ozonu je dvou paprskový UV fotometr určený pro kontinuální měření koncentrace ozonu ve vzduchu. Přístroj má automatickou kalibraci nuly, čímž odstraňuje nutnost kalibrovat nulu při každém měření. Analyzátor koncentrace ozonu má analogový výstup 4 – 20 mA a komunikační sběrnici RS-485. [17]



*Obr. 5 Analyzátor koncentrace ozonu LF2000 [17]*

## 3.2 Přístroje použité pro testování

### 3.2.1 Trhací stroj

Pro experimenty byly použity dva trhací přístroje. Trhací přístroj Instron 4411 byl použit pro zjišťování mechanických vlastností přízí a trhací stroj Testometric M350-5CT byl použit pro zjišťování mechanických vlastností tkanin.

#### **Instron 4411** – pro testování přízí

Technické parametry přístroje: [21]

- maximální zatížení – 5 kN (500 kg)
- šířka pracovního prostoru – 250 mm
- maximální dráha příčnicku – 1067 mm
- rozsah rychlosti příčnicku 0,5 mm/min až 500 mm/min
- +/- 10 V neohraničený analogový výstup signálu pro sílu a deformace
- číslicový řídicí systém pohonu příčnicku s možností měnit rychlost
- integrovaná číslicová regulační smyčka řídicí elektroniky a sběr dat
- volitelný systém jednotek – SI, metrické, dle US zvyklostí
- zpětný rychloposuv 600 mm/min se zabudovanou zpomalovací funkcí pro přesné polohování příčnicku

#### **Testometric M350-5CT** – pro testování tkanin

Technické parametry přístroje: [21]

- plně digitální zkušební systém s vysokou přesností ovládání
- samonastavitelné silové články
- automatické rozpoznání a kalibrace silových článků a extenzometrů s okamžitou možností kalibrace
- přesné řízení příčnicku AC servo pohonem
- vysokorychlostní systém sběru dat
- velký rozsah čelistí a přípravků pro zkoušení v tahu, tlaku, ohybu

### 3.2.2 Spektrometr

Pro experimenty byly použity dva spektrometry. Spektrometr Thermo Scientific – Helios Epsilon byl použit pro testování průchodu světla skrz roztok barviva a polyamidové fólie. Spektrometr Datacolor Spectraflash SF600 byl použit pro testování odrazu světla od polyamidové tkaniny.

#### **Thermo Scientific - Helios Epsilon** – testování průchodu světla

Technické parametry přístroje: [22]

- typ optiky – jednopaprskový
- šířka štěrbin -  $\leq 8$  nm
- detektor – Si fotodioda
- rozsah vlnové délky – 325-1100 nm
- vlnová délka – přesnost -  $\pm 2,0$  nm
- fotometrie rozsah - -0,1-2,5 A; 0-12 % T, 0-1999C
- odečítané hodnoty – absorbance, transmittance, koncentrace
- přesnost -  $\pm 0,003$  A od 0,0 do 0,3 A, 1,0 % od 0,301 A do 2,5 A, NIST 930 D filtry
- rozhraní – porty RS-232C a Centronics

#### **Datacolor Spectraflash SF600** – testování odrazu světla

Technické parametry přístroje: [23]

- měření geometrie – difusní osvětlení ( $8^\circ$ )
- zdroj osvětlení – pulzní xenonová výbojka (D65)
- spektrální analyzátor – vlastní SP2000 analyzátor s duálním 256 diodovým polem a vysokým rozlišením holografické mřížky
- rozsah vlnových délek – 360 nm až 700 nm
- efektní šířka pásma – 5nm nebo 10 nm
- fotometrický rozsah – 0-200 %
- clona desky pro měření – standard (LAV, SAV, USAV), volitelné (XUSAV, MAV)

- absolutní provozní rozsah – 5 °C až 40 °C, 5 % až 85 % nekondenzující relativní vlhkosti
- rozhraní – RS-232 (6) nebo USB 1.1

### 3.3 Použité materiály

#### Plošné textilie:

- Bavlna bělená
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 268 osnovních / 284 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 120 g/m<sup>2</sup>
- Bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 275 osnovních / 251 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 135 g/m<sup>2</sup>
- Bavlna odšlichtovaná
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 279 osnovních / 213 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 170 g/m<sup>2</sup>
- Viskóza
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 265 osnovních / 228 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 140 g/m<sup>2</sup>
- Polyamid
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 292 osnovních / 268 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 70 g/m<sup>2</sup>
- Polypropylen
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 220 osnovních / 169 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 165 g/m<sup>2</sup>
- Polyamidová fólie
  - 30 g/m<sup>2</sup>

- Polyester
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 210 osnovních / 168 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 195 g/m<sup>2</sup>
- Vlna
  - vazba - plátňová vazba
  - dostava – 225 osnovních / 204 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 175 g/m<sup>2</sup>
- Kevlar
  - vazba – atlasová vazba
  - dostava – 65 osnovních / 55 útkových přízí na 10cm<sup>2</sup>
  - 355 g/m<sup>2</sup>

**Příze (připravené z tkanin uvedených výše):**

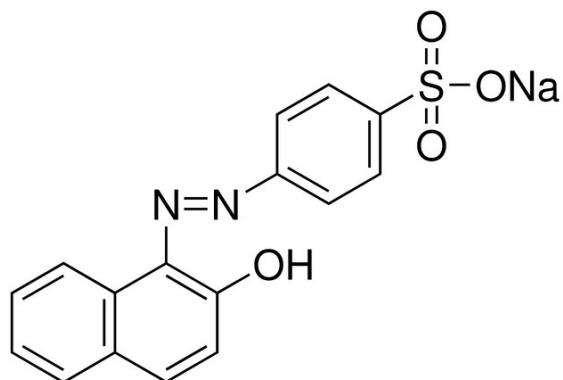
- Bavlna
  - jemnost – 1,8 dtex
- PES
  - jemnost – 4,6 dtex
- Vlna
  - jemnost – 3,6 dtex
- Kevlar
  - jemnost – 26,1 dtex

**Vlákna:**

- Len
  - délka vláken – 1,4-9,6 cm
- Uhlíková vlákna
  - délka vláken – 65 cm
- Vlna surová
  - délka chlupů – 8,4-11,2 cm
- Králíčí chlupy
  - délka chlupů – 1,5-3,4 cm

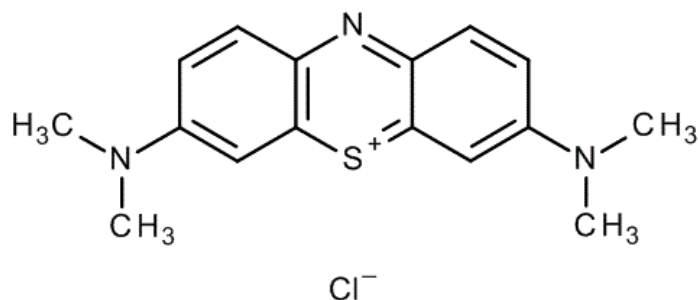
### 3.4 Použitá barviva

- Azobarvivo – Oranž II – C.I. Acid Orange 7 (C.I. No. 15510) [29]



Obr. 6 Chemický vzorec Oranže II [24]

- Methylenová modř – Basic Blue 9 (C.I. 52015) [30]



Obr. 7 Chemický vzorec methylenové modře [27]

## 4. Příprava vzorků - ozonizace

Základem všech experimentů této diplomové práce je ozonizace, neboli vystavení vzorků (textilních materiálů) působení ozonu. Každý vzorek je podroben působení ozonu dle konkrétních požadavků daného experimentu. Variabilními veličinami v rámci ozonizace jsou čas působení ozonu na vzorek, hmotnost vzorku, rozměr vzorku, výkon generátoru ozonu a průtok ozonu.

K ozonizaci je připravená sestava složená z generátoru ozonu, analyzátoru koncentrace ozonu a testovací nádoby - popis zařízení viz kapitola 3.1. Zařízení pro generování ozonu a měření koncentrace ozonu.

#### **Postup ozonizace:**

- 1) nastavení generátoru ozonu (např. na 50% výkon)
- 2) nastavení průtoku ozonu na generátoru ozonu (např. na 2l/min)
- 3) do testovací nádoby vložíme vzorek (např. promývací lahev o objemu 100 ml, plastová nádoba o objemu 10 l)
- 4) spustíme generátor ozonu a ten začne vyvíjet ozon
- 5) jakmile na analyzátoru koncentrace ozonu zaregistrujeme detekci prošlého ozonu, vpustíme pomocí regulačních pák ozon ke vzorku do testovací nádoby a necháme působit dle stanovené doby (např. 5minut, 10minut, 15minut)
- 6) dle požadavků experimentu po vpuštění ozonu ke vzorku zapisujeme hodnoty koncentrace ozonu (mg/l) naměřené analyzátozem koncentrace ozonu po stanovenou dobu
- 7) po uplynutí požadovaného času vypneme generování ozonu a necháme ještě vzorek „profouknout“ vzduchem po dobu 1minuty
- 8) po uplynutí 1minuty uzavřeme regulační páky, čímž zamezíme přístupu vzduchu do testovací nádoby
- 9) vyjmeme vzorek z testovací nádoby

## **5. Vliv působení ozonu s textilními materiály a technologiemi**

### **5.1 Vliv působení ozonu versus množství koncentrace ozonu**

Cílem tohoto experimentu bylo prozkoumat množství koncentrace ozonu prošlého skrz vzorek textilního materiálu, respektive vliv textilního materiálu na spotřebované množství ozonu v čase. Pro experiment bylo připraveno několik vzorků různých textilních materiálů v podobě plošné textilie a v podobě vlákenné suroviny. Všechny vzorky byly připraveny s požadovanou hmotností 2g a vystaveny vlivu působení ozonu po dobu 5 minut. Jako testovací nádoba byla použita promývací lahev o objemu 100 ml.

Generátor ozonu pro ozonizaci byl nastaven:

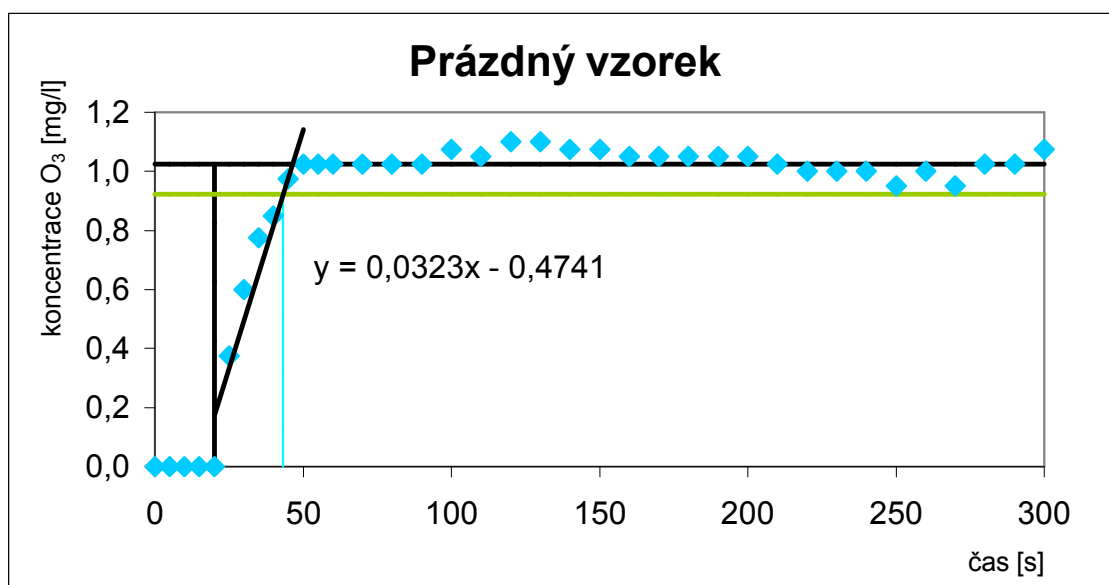
- výkon – 50 %
- průtok – 2 l/min

### 5.1.1 Experiment č. 1 – plošné textilie

Pro první experiment byly zvoleny plošné textilie, konkrétně tkaniny – bavlna bělená, bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou, bavlna odšlichtovaná, viskóza, PA, POP, PES a vlna.

#### Výsledky naměřených hodnot:

Z průběžně měřených hodnot koncentrace ozonu byly sestaveny grafy a spočítán čas ( $t_{0,9}$ ), kdy se v plynu procházejícím skrz vzorek dosáhlo 90% stabilní koncentrace ozonu ve vzduchu (viz příloha č. 1). Předpokladem je, že po určité době pokusu se vláknenný materiál ozonem nasytí, respektive zreaguje s ozonem, a následně již prochází ozon bez interakce s materiálem. Vypočítaná hodnota  $t_{0,9}$  pro všechny testované plošné textilie je v tabulce 4. Graf 1 znázorňuje průběh množství koncentrace ozonu v čase bez textilie a postup stanovení  $t_{0,9}$ .



Graf 1 Průběh množství koncentrace ozonu – prázdný vzorek. Rovnice regrese byla

použita pro výpočet hodnoty  $t_{0,9}$  (■  $t_0$ , ■  $t_{0,9}$ , —  $c_\infty$ , —  $c_{\infty 0,9}$ ).



	<b>t<sub>0,9</sub> [s]</b>
<b>Prázdný vzorek</b>	43
<b>Bavlna bělená</b>	64
<b>Bavlna odšlichtovaná</b>	116
<b>Bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou</b>	60
<b>PA</b>	46
<b>POP</b>	111
<b>PES</b>	36
<b>Viskóza</b>	37
<b>Vlna</b>	44

*Tab. 4 Přehled vypočítané hodnoty  $t_{0,9}$  pro všechny testované plošné textilie*

### 5.1.2 Experiment č. 2 – vlákna

Pro druhý experiment byl zvolen textilní materiál v podobě vláken – len, surová vlna, uhlíková vlákna a králičí chlupy.

#### Výsledky naměřených hodnot:

Z průběžně měřených hodnot koncentrace ozonu byly sestaveny grafy a spočítán čas ( $t_{0,9}$ ), kdy se v plynu procházejícím skrz vzorek dosáhlo 90% stabilní koncentrace ozonu ve vzduchu (viz příloha č. 1). Vypočítaná hodnota  $t_{0,9}$  pro všechna testovaná vlákna je v tabulce 5.

	<b>t<sub>0,9</sub> [s]</b>
<b>Prázdný vzorek</b>	43
<b>Králičí chlupy</b>	99
<b>Len</b>	51
<b>Uhlíková vlákna</b>	53
<b>Vlna surová</b>	83

*Tab. 5 Přehled vypočítané hodnoty  $t_{0,9}$  pro všechna testovaná vlákna*

### 5.1.3 Diskuze výsledků - množství koncentrace ozonu

Oba dva experimenty byly provedeny za stejných podmínek, jak pro všechny tkaniny, tak i pro všechna vlákna. Ozon byl přiváděn k testovací nádobě s vloženým textilním materiálem a analyzátor koncentrace ozonu byl umístěn v pořadí za testovací nádobou s textilním materiálem. V závěru provedeného a vyhodnoceného experimentu

je zřejmé, že textilní materiál nemá významný vliv na množství koncentrace ozonu prošlé skrz vzorek textilního materiálu. Respektive ozon s textilními materiály, jako silné oxidační činidlo reaguje, avšak ne do takové míry v rámci času, aby byla významně ovlivněna koncentrace ozonu proudící skrz vzorek textilního materiálu.

Na všech grafech vytvořených pro výpočet (viz příloha č.1) můžeme pozorovat, že množství koncentrace ozonu narůstá u všech materiálů podobným způsobem. Avšak podle tabulky 4 a 5, kde je vypočítán čas, kdy se v plynu procházejícím skrz vzorek dosáhlo 90% stabilní koncentrace ozonu ve vzduchu je zřejmé, že koncentrace ozonu je ovlivněna reakcí ozonu s textilním materiálem. Za předpokladu, že po určité době pokusu se vlákenný materiál ozonem nasytí a následně již prochází ozon bez interakce s textilním materiálem, vysoká vypočítaná hodnota  $t_{0,9}$  představuje vysokou reaktivitu vlákenného materiálu s ozonem. Podle vypočítaných hodnot  $t_{0,9}$  v tabulce 4 pro plošné textilie vysokou reaktivitu vůči ozonu vykazuje bavlna a POP. Podle tabulky 5 pro testovaná vlákna vysokou reaktivitu vůči ozonu vykazují králíčí chlupy a vlna.

Reakce ozonu s textilními materiály je ovlivněna chemickým složením textilního materiálu, eventuálně chemickým složením zušlechťovací úpravy. Rozdílnou reaktivitu ozonu podle hodnoty  $t_{0,9}$  ovlivněnou zušlechťovací úpravou lze pozorovat v experimentu č. 1 u testovaných vzorků bavlny bělené, bavlny s neodstraněnou škrobovou šlichtou a bavlny odšlichtované.

Množství koncentrace ozonu bylo testováno nejen s textilními materiály, ale pro porovnání i s prázdnou testovací nádobou. V tomto případě mělo proudění ozonu volnou cestu. Na grafu 1 je znatelné, že množství koncentrace ozonu není konstantní, což je ovlivněno samotným generátorem ozonu a dalšími faktory jako je např. vlhkost vzduchu.

V následujících experimentech nebylo prvotně sledováno množství koncentrace ozonu, ale byl sledován vliv působení ozonu na zkoumaný vzorek a jeho případné změny způsobené působením ozonu.

## **5.2 Vliv ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů**

Podstatou tohoto experimentu bylo zjistit, jaký má vliv působení ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů. Vybrané textilní materiály byly nejprve vystaveny působení ozonu za stanoveného času a výkonu generátoru ozonu. V

následující řadě vzorky byly podrobeny testování na mechanické vlastnosti a byly tak sledovány jejich vlastnosti - pevnost, tažnost a modul pružnosti (příze). Prvotně byly testovány textilní materiály v podobě plošné textilie (tkaniny). S ohledem na výsledky testovaných tkanin byly vystaveny působení ozonu také vybrané příze připravené z tkanin, které byly zvolené pro experiment č. 3.

### **5.2.1 Experiment č. 3 – tkaniny**

Pro testování mechanických vlastností tkanin byly připraveny textilní materiály - bavlna bělená, bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou, bavlna neodšlichtovaná, viskóza, PA, POP, PES a vlna. Všechny vzorky tkanin byly připraveny na rozměr 30x6 cm a střiženy po osnově. Pro každý materiál bylo připraveno šest vzorků, přičemž tři byly vystaveny působení ozonu a tři nikoliv, aby bylo možné srovnat vliv působení ozonu na textilní materiály s neozonizovanými textilními vzorky. Všechny vzorky textilních materiálů byly vystaveny působení ozonu po dobu 10 minut. Jako testovací nádoba byla použita promývací lahev o objemu 100 ml.

Generátor ozonu pro ozonizaci byl nastaven:

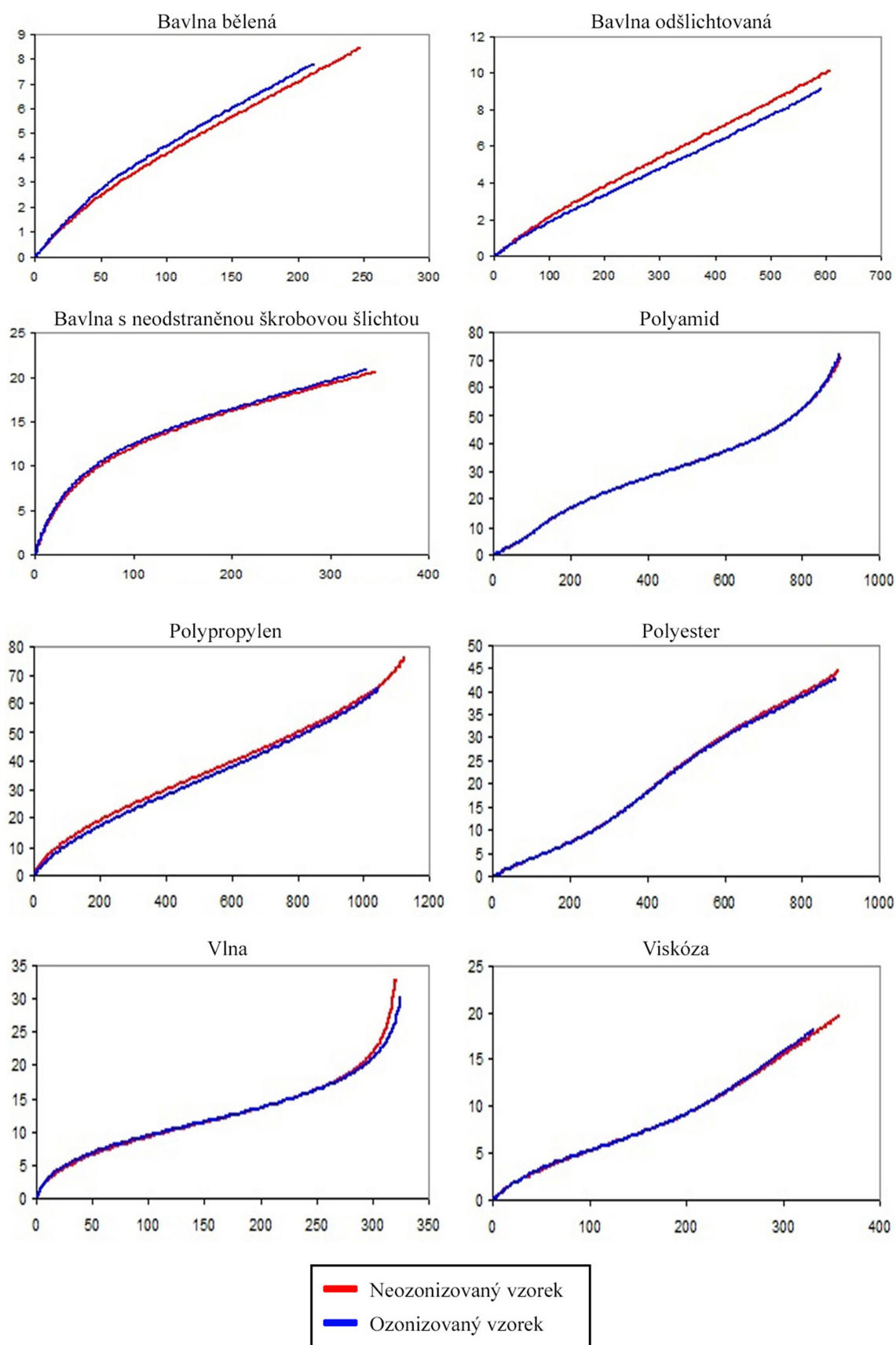
- výkon - 50 %
- průtok - 2 l/min

### **Výsledky naměřených hodnot – tahové křivky jednotlivých materiálů:**

Trhací stroj byl nastaven:

- upínací vzdálenost – 200 mm
- rychlost zatěžování – 100 mm/min

Výsledné tahové křivky všech testovaných tkanin jsou vyobrazeny v grafu 2. Každá tahová křivka představuje průměrnou hodnotu z jednotlivých měření pro každou testovanou tkaninu. Každá testovaná tkanina jak ozonizovaná tak také neozonizovaná tkaniny byla proměřena třikrát.



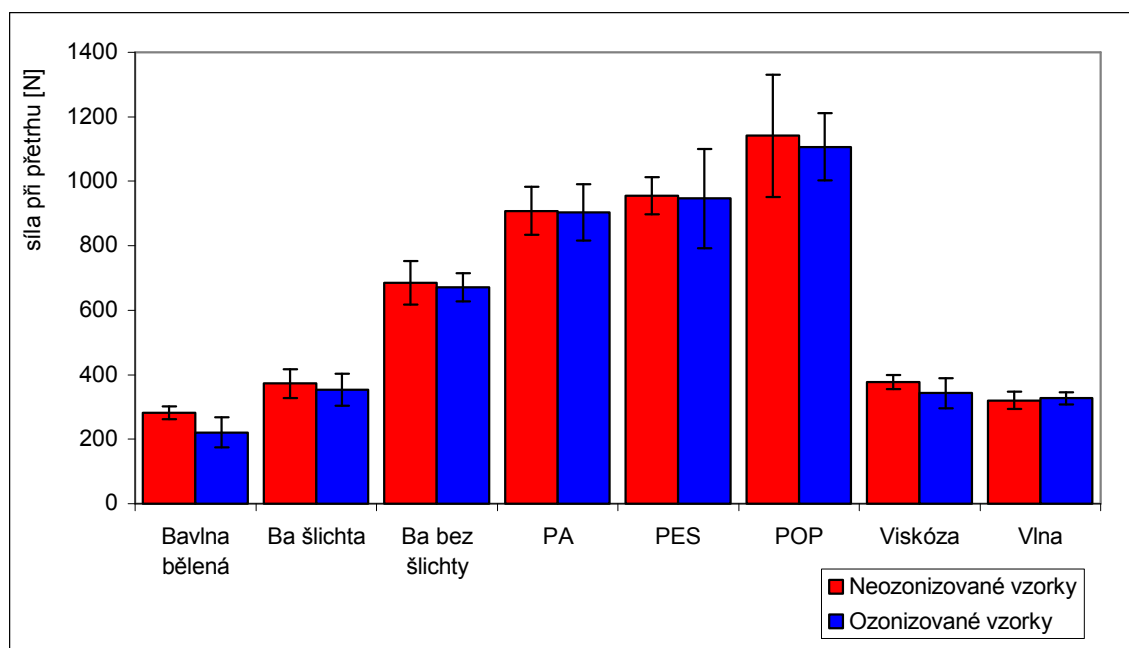
Graf 2 Přehled výsledných tahových křivek ozonizovaných a neozonizovaných vzorků tkanin (osa  $x$  – prodloužení [mm], osa  $y$  – pevnost [N])

## Výsledky naměřených hodnot – síla při přetrhu:

Pro jednotné znázornění vlivu působení ozonu na mechanické vlastnosti textilií (tkanin) byla zvolená naměřená veličina síla při přetrhu. V tabulce 6 jsou vypsané průměrné hodnoty naměřené síly při přetrhu pro jednotlivé druhy tkanin. A následně v grafu 3 jsou tyto hodnoty graficky znázorněny.

Síla při přetrhu [N]								
	Bavlna bělená	Ba šlichta	Ba bez šlichty	PA	PES	POP	Viskóza	Vlna
Neozonizované vzorky	282	373	685	909	956	1141	376	321
Ozonizované vzorky	221	353	671	904	946	1107	343	327

Tab. 6 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu [N]



Graf 3 Celkový přehled průměrných hodnot testovaných tkanin ze tří měření, znázornění 95% intervalů spolehlivosti

### 5.2.2 Diskuze výsledků - mechanické vlastnosti tkanin

Graf 2 znázorňuje rozdíl mezi ozonizovanými vzorky (vzorky, které byly vystaveny působení ozonu) a neozonizovanými vzorky. U všech testovaných materiálů

lze pozorovat velmi slabý rozdíl v tahové křivce ozonizovaného a neozonizovaného vzorku. Syntetické materiály (viskóza, PA, POP, PES) vykazují rozdíl v závěrečné fázi namáhání v tahu. Bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou a vlna vykazují stejné chování jako syntetické materiály. Tudiž u syntetických materiálů, bavlny s neodstraněnou škrobovou šlichtou a vlny působení ozonu při stanovených podmínkách experimentu nemá významný vliv na mechanické vlastnosti těchto tkanin. Oproti zmíněným materiálům vykazuje odlišné chování bavlna bělená a bavlna odšlichtovaná. Obě dvě bavlněné tkaniny vykazují rozdíl v pevnosti a tažnosti a lze tak předpokládat, že působení ozonu má na bavlněné tkaniny degradační účinky.

Graf 3 znázorňuje vliv působení ozonu na vybranou veličinu a to na sílu při přetrhu. Dle naměřených a vyhodnocených dat opět bavlněná tkanina vykazuje oproti ostatním materiálům nejvýraznější změny. Proto právě bavlna byla vybrána do dalšího experimentu, kde byly vystaveny působení ozonu příze.

### **5.2.3 Experiment č. 4 - příze**

V druhém experimentu, kde bylo testováno působení ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů, byly zvoleny příze - bavlna, PES a vlna. Tyto příze byly připraveny z tkanin určených pro experiment č. 3 – bavlna bělená, PES a vlna. Cílem experimentu bylo zjistit, jaký vliv má působení ozonu na textilní materiály v různých časových intervalech - 1hodina, 3hodiny, 14hodin, 20hodin, 168hodin a 330hodin. Jako testovací nádoba byla zvolena 1000 ml polyethylenová lahev, ve které byl každý vzorek uzavřen po ozonizaci a ponechán po již zmíněnou dobu časového intervalu. Od každého textilního materiálu pro jednotlivý časový interval bylo připraveno pro testování 10 přízí o délce 30 cm (nestandardní zkouška). Ozonizace všech vzorků byla stanovena na 5 minut.

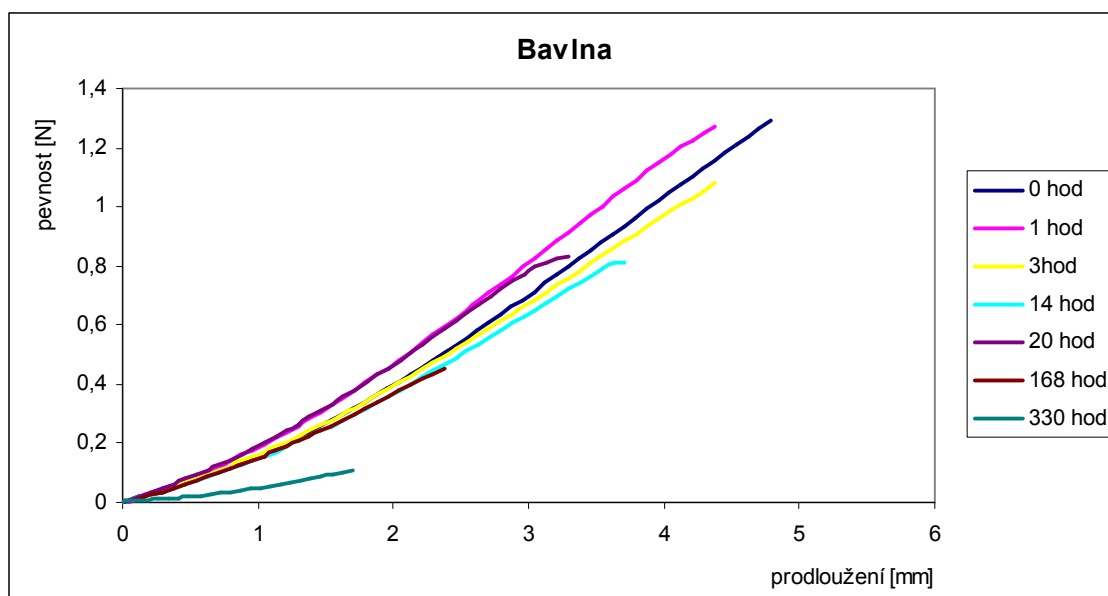
Generátor ozonu pro ozonizaci byl nastaven:

- výkon - 80 %
- průtok - 2 l/min

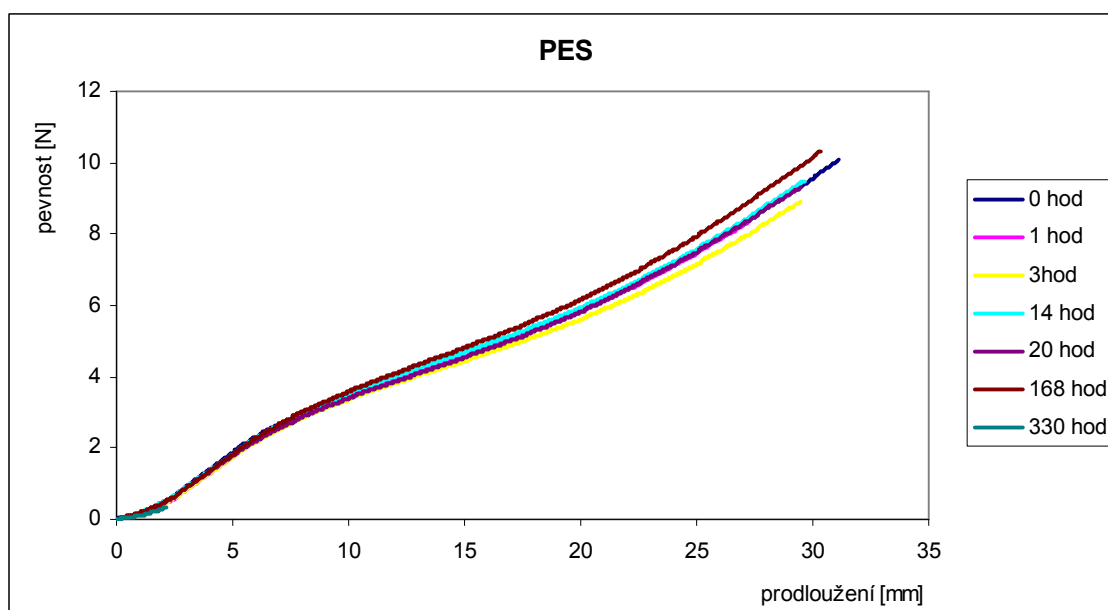
## Výsledky naměřených hodnot – tahové křivky jednotlivých materiálů:

Trhací stroj byl nastaven:

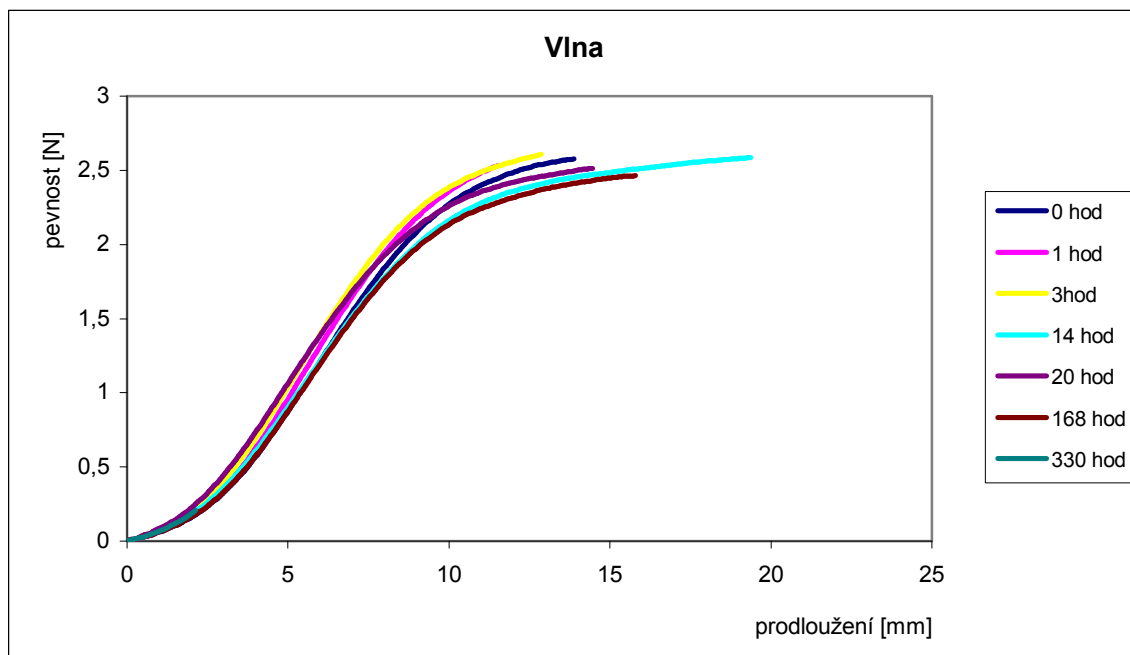
- upínací vzdálenost – 100 mm
- rychlost zatěžování – 100 mm/min
- předpětí - vypnuto



Graf 4 Bavlna – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (průměry z 10x měření)



Graf 5 Polyester – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (průměry z 10x měření)



Graf 6 Vlna – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (průměry z 10x měření)

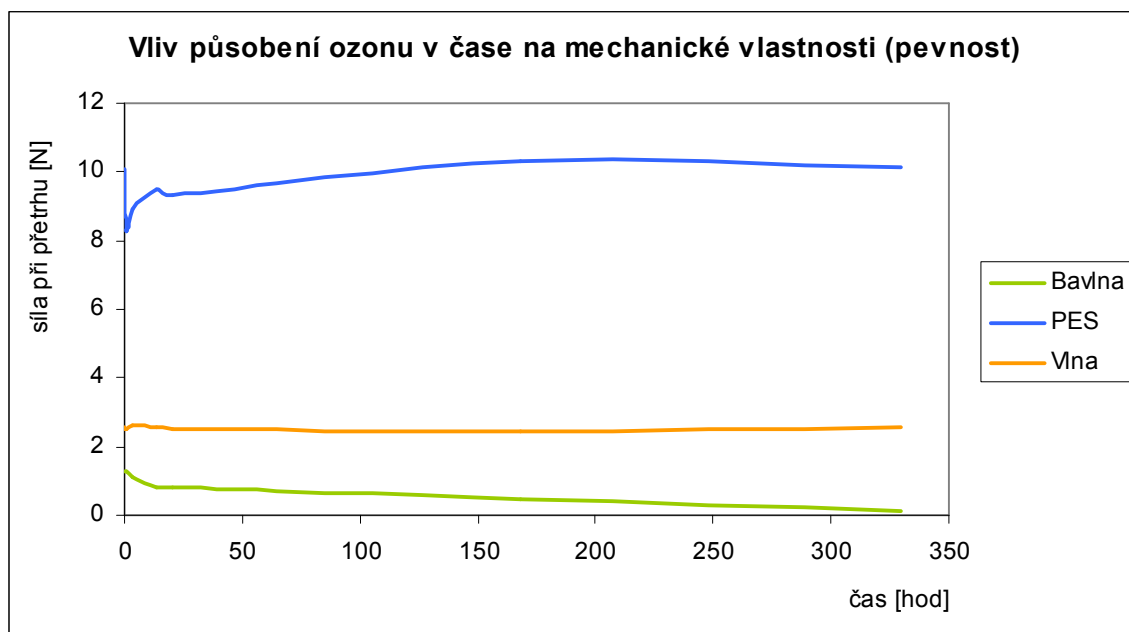
### Výsledky naměřených hodnot – vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti:

Pro grafické znázornění vlivu působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti přízí (graf 7) byla zvolena veličina síla při přetrhu. V následující tabulce 7 jsou vypsány naměřené průměrné hodnoty síly při přetrhu pro jednotlivé textilní materiály.

Síla při přetrhu [N]							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
<b>Bavlna</b>	1,29	1,3	1,1	0,8	0,8	0,5	0,1
<b>PES</b>	10,1	8,3	8,9	9,5	9,3	10,3	10,1
<b>Vlna</b>	2,6	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5	2,6

Tab. 7 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu pro různé doby ozonizace [N] (10x měření)



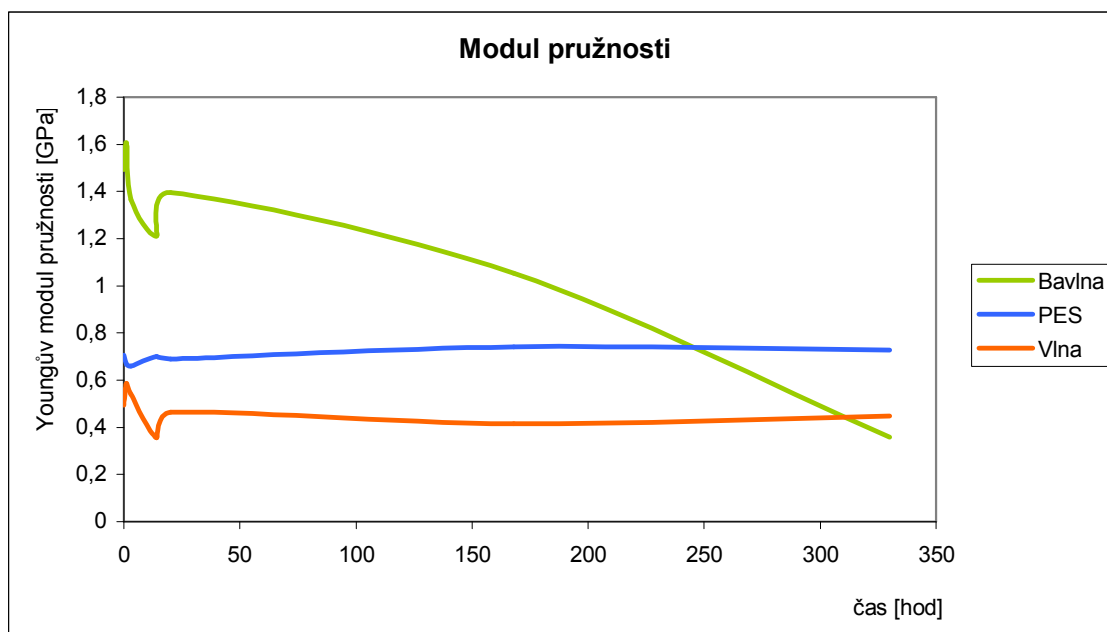


Graf 7 Vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti – bavlna, PES, vlna (příže)

#### Výsledky naměřených hodnot – modul pružnosti:

Modul pružnosti							
Bavlna							
Jemnost T = 0,18 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
E [GPa]	1,493	1,605	1,364	1,212	1,396	1,054	0,357
PES							
Jemnost T = 0,46 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
E [GPa]	0,706	0,669	0,660	0,700	0,690	0,742	0,728
Vlna							
Jemnost T = 0,36 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
E [GPa]	0,495	0,585	0,540	0,356	0,463	0,416	0,447

Tab. 8 Přehled hodnot modulu pružnosti pro různé doby ozonizace



Graf 8 Vliv působení ozonu na modul pružnosti přízí (bavlna, PES, vlna)

#### 5.2.4 Diskuze výsledků - mechanické vlastnosti přízí

Předchozí experiment s tkaninami byl omezen na jednotný čas působení ozonu s textilními materiály. A tak testované příze byly podrobeny působení ozonu v různě dlouhých časových intervalech, aby bylo možné sledovat, zda působení ozonu má vliv na textilní vlákna v přízích. Polyesterové příze a vlněné příze vykazují dle tohoto experimentu odolnost vůči působení ozonu. Ozon nijak markantně neovlivnil mechanické vlastnosti polyesterových a vlněných přízí. Avšak na grafu 4, znázorňující vliv působení ozonu v čase na bavlněné příze, můžeme sledovat oproti polyesterovým a vlněným přízím pokles pevnosti a tažnosti v čase. I tento experiment vykazuje degradační účinky bavlněného materiálu vlivem působení ozonu.

### 5.3 Vliv ozonu na mechanické vlastnosti Kevlaru

Záměrem tohoto experimentu bylo zjistit, zda má působení ozonu vliv na aramidová vlákna - Kevlar. Kevlarová vlákna v podobě tkaniny a příze byly vystaveny působení ozonu a následně testovány na trhačím stroji a sledovány mechanické vlastnosti - pevnost, tažnost a modul pružnosti (příze).

### 5.3.1 Experiment č. 5 – Kevlar (tkanina)

Z kevlarové tkaniny byly nastříhány vzorky po osnově a po útku o rozměru 30x6,5 cm. Vzorky byly stříhány speciálními nůžkami pro aramidová vlákna (7240AS - high carbon stainless). Byly stanoveny různé časové intervaly působení ozonu na kevlarovou tkaninu - 10minut, 15minut, 20minut a 30minut. Pro každý časový interval bylo připraveno pět vzorků střížených po osnově a pět vzorků střížených po útku pro testování a následné vyhodnocení. Před vystavením vzorků působení ozonu byla kevlarová tkanina očištěna v acetonové lázni. A to tak, že všechny vzorky byly vloženy do skleněné nádoby a zality 900ml acetonu. V acetonové lázni byly vzorky ponechány po dobu 1 hodiny a uloženy v digestoři. Po uplynutí 1 hodiny vzorky byly vyjmuty z acetonové lázně, rozloženy na filtrační papír a usušeny. Jako testovací nádoba pro ozonizaci vzorků byla použita plastová nádoba s víkem z polypropylenu o objemu 20 litrů.

Generátor ozonu pro ozonizaci byl nastaven:

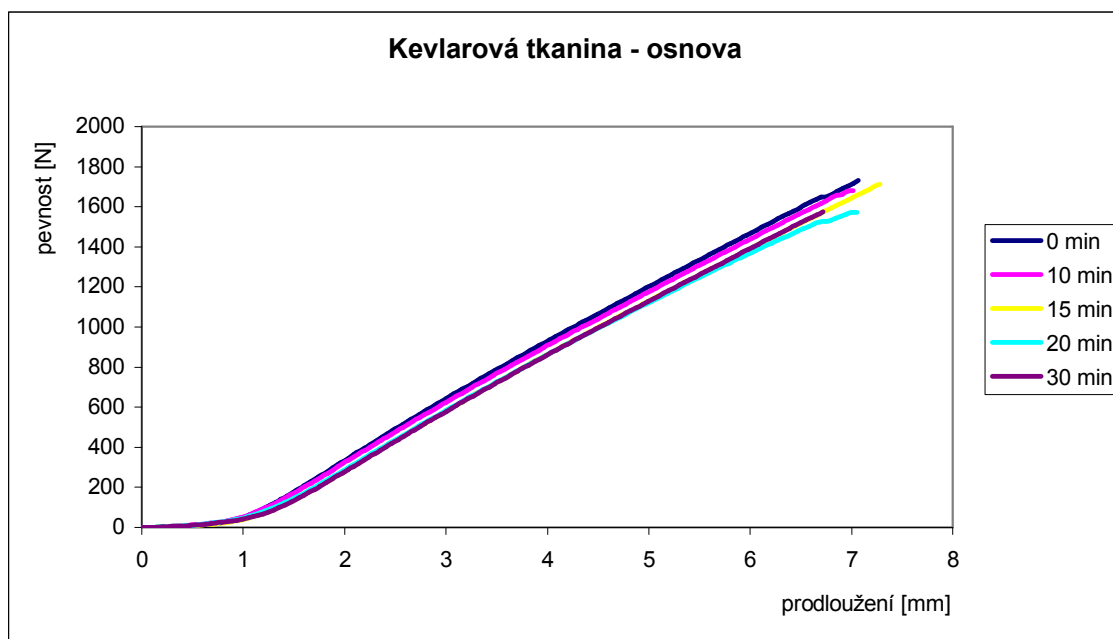
- výkon - 50 %
- průtok - 8 l/min
- koncentrace ozonu – okolo 1,7 mg/l

Vzorky všech časových intervalů byly následně podrobeny testování mechanických vlastností (pevnost, tažnost) na trhačím stroji a vyhodnoceny.

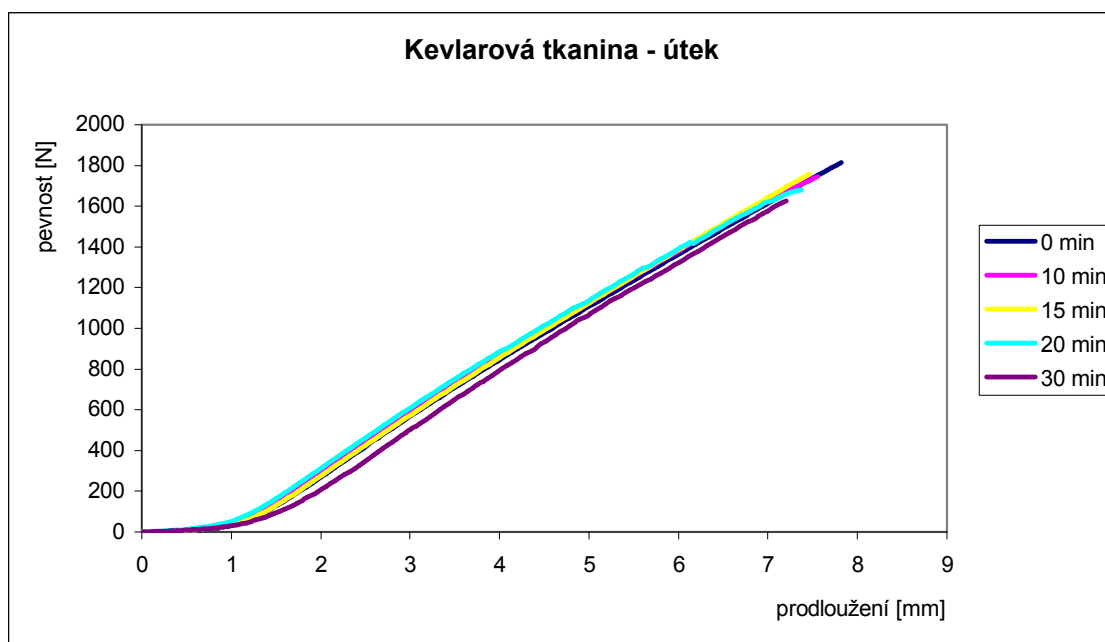
#### Výsledky naměřených hodnot – tahové křivky:

Trhačí stroj byl nastaven:

- upínací vzdálenost – 100 mm
- rychlost zatěžování – 100 mm/min
- šířka vzorku – 10 mm
- předpětí - vypnuto



*Graf 9 Kevlarová tkanina (osnova) – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (5x měření)*



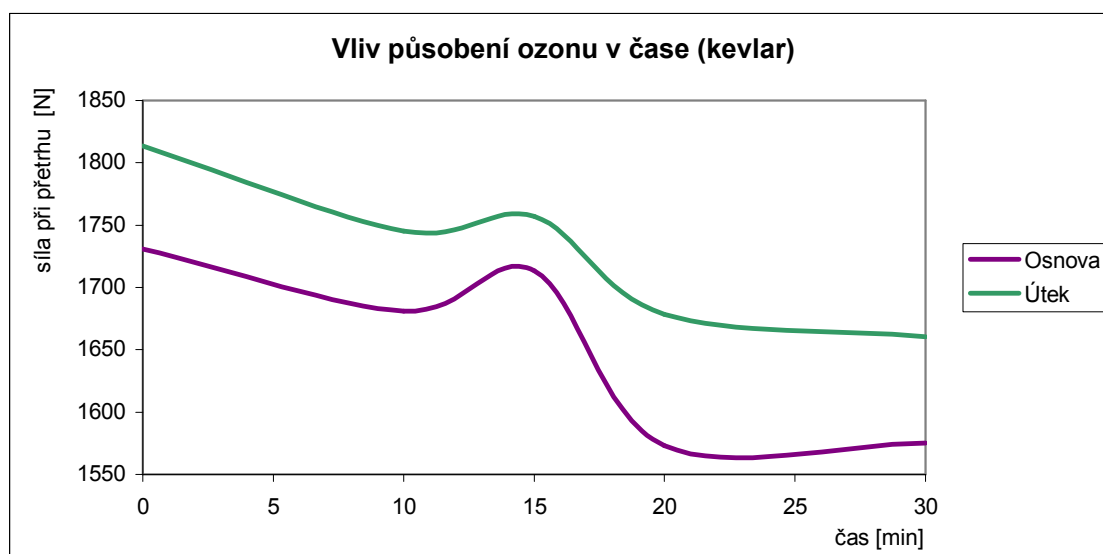
*Graf 10 Kevlarová tkanina (útek) – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (5x měření)*

## Výsledky naměřených hodnot – vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti kevlaru:

Pro grafické znázornění vlivu působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti kevlarové tkaniny (znázorněno v grafu 11) byla zvolena veličina síla při přetrhu. V následující tabulce 9 jsou vypsány naměřené průměrné hodnoty síly při přetrhu pro jednotlivé časové intervaly osnova a útku kevlarové tkaniny.

Kevlarová tkanina – síla do přetrhu [N]					
	0 min	10 min	15 min	20 min	30 min
Osnova	1731	1681	1714	1573	1575
Útek	1813	1745	1757	1678	1660

Tab. 9 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu [N] pro různé doby ozonizace



Graf 11 Vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti – osnova, útek

### 5.3.2 Diskuze výsledků – mechanické vlastnosti kevlarové tkaniny

Graf 9 a 10 znázorňuje tahové křivky zvolených časových intervalů osnovních a útkových kevlarových tkanin. Oba dva grafy nevykazují významné změny mechanických vlastností způsobené vlivem působení ozonu. Nicméně však vlivem prodloužení času působení ozonu na kevlarovou tkaninu způsobilo pokles pevnosti do přetrhu (viz graf 11).

### 5.3.3 Experiment č. 6 – Kevlar (příze)

Druhý experiment testování působení ozonu na kevlarovou textilií byl připraven stejným způsobem jako experiment testování vlivu působení ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů - přízí (viz kapitola 5.2.2). Tudíž byly připraveny kevlarové příze o délce 30 cm. Vzhledem k tomu, že tyto kevlarové příze nedisponují zákrutem, bylo nutné oba konce kevlarové příze zauzlovat. Vzorky byly připraveny pro různé časové intervaly působení ozonu – 1hodina, 3hodiny, 14hodin, 20hodin, 168hodin a 330hodin. Jako testovací nádoba byla též zvolena 1000ml polyethylenová lahev, ve které byl každý vzorek uzavřen po ozonizaci a ponechán po stanovenou dobu časového intervalu. Pro každý časový interval bylo připraveno 5 kevlarových přízí. Ozonizace všech vzorků byla stanovena na 5 minut.

Generátor ozonu pro ozonizaci byl nastaven:

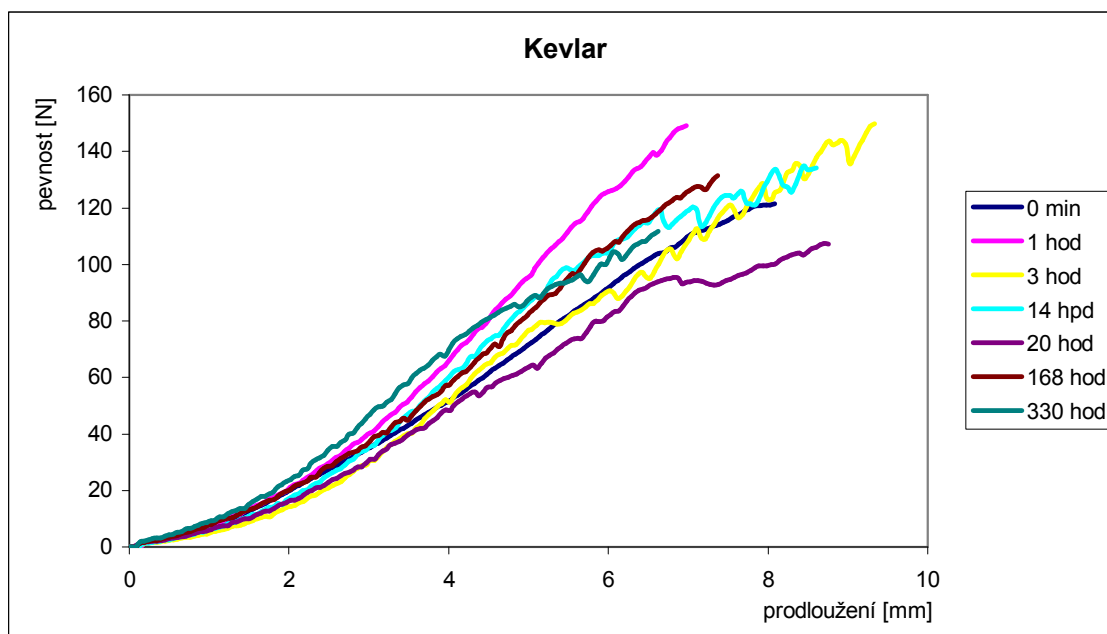
- výkon - 80 %
- průtok - 2 l/min

Následně vzorky všech časových intervalů byly podrobeny testování mechanických vlastností (pevnost, tažnost, modul pružnosti) na trhacím stroji a vyhodnoceny.

#### Výsledky naměřených hodnot – tahové křivky:

Trhací stroj byl nastaven:

- upínací vzdálenost – 100 mm
- rychlost zatěžování – 100 mm/min
- předpětí - vypnuto



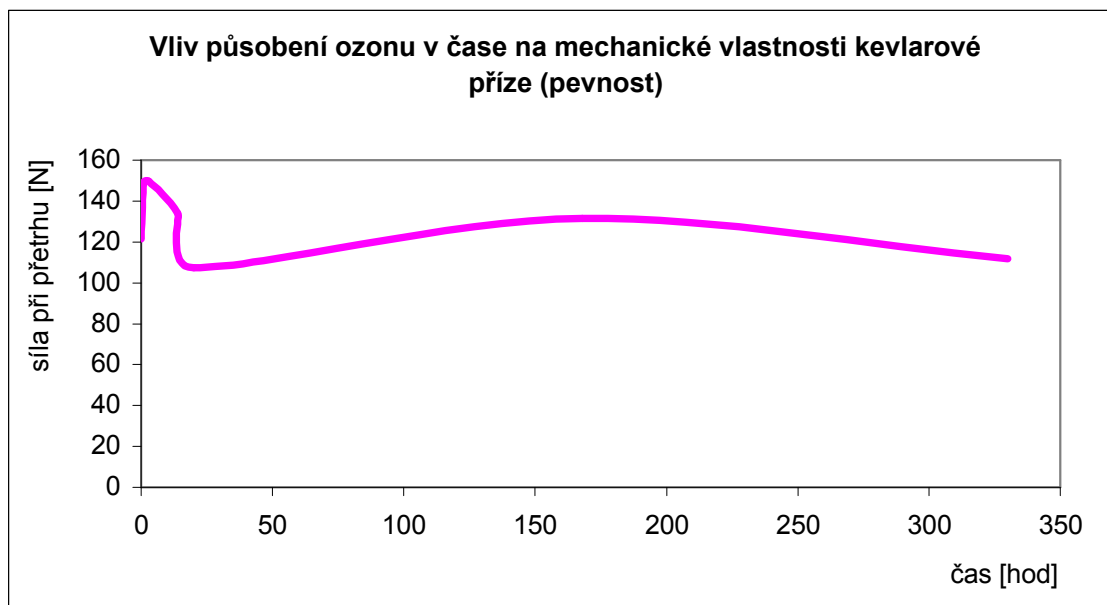
*Graf 12 Kevlar – tahové křivky jednotlivých časových intervalů*

### **Výsledky naměřených hodnot – vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti kevlaru:**

Pro grafické znázornění vlivu působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti kevlarové příze (graf 13) byla zvolena veličina síla při přetrhu. V následující tabulce 10 jsou vypsány naměřené průměrné hodnoty síly při přetrhu kevlarové příze.

Síla při přetrhu [N]							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
<b>Kevlar</b>	122	149	150	134	107	132	112

*Tab. 10 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu [N] pro různé doby ozonizace*

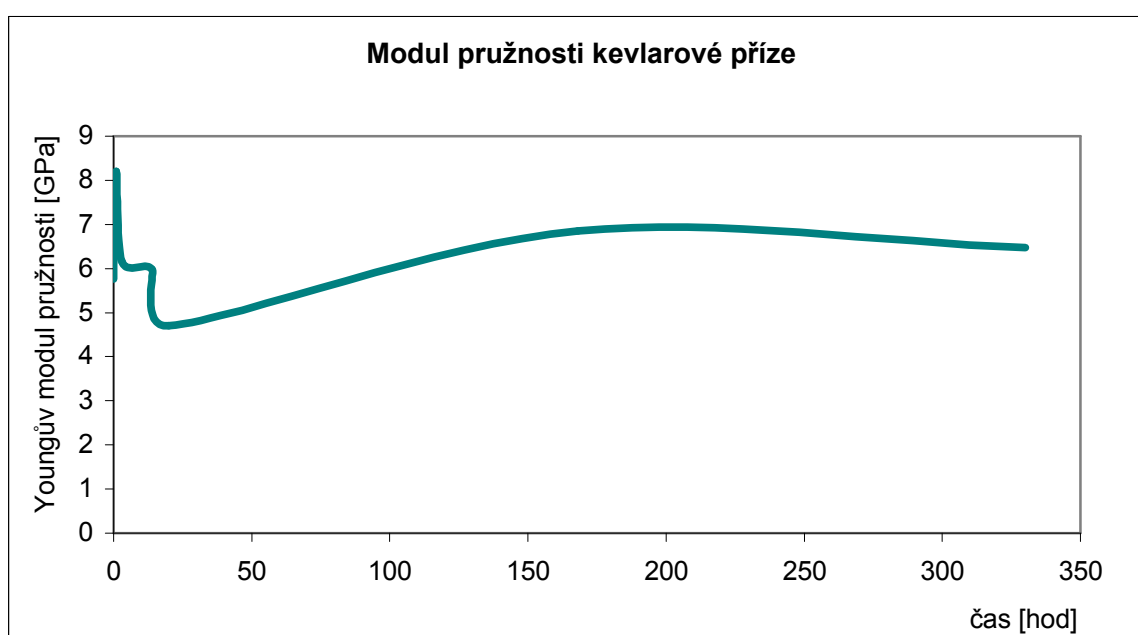


*Graf 13 Vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti – kevlar*

**Výsledky naměřených hodnot – modul pružnosti:**

Modul pružnosti							
Kevlar							
Jemnost T = 2,61 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
E [GPa]	5,766	8,201	6,155	5,982	4,702	6,847	6,472

*Tab. 11 Přehled hodnot modulu pružnosti pro různé doby ozonizace*



*Graf 14 Vliv působení ozonu na modul pružnosti kevlarových přízí*



### **5.3.3 Vliv ozonu na mechanické vlastnosti Kevlaru – diskuze výsledků**

Graf 12 znázorňuje tahové křivky testovaných kevlarových přízí za určitých časových intervalů působení ozonu. Na grafu 13 můžeme sledovat slabý pokles pevnosti v čase, respektive nikterak významnější oproti poklesu pevnosti u testovaných kevlarových tkanin. Na grafu 13 také můžeme sledovat nárůst pevnosti v počátečních časových intervalech. Modul pružnosti vlivem působení ozonu nevykazuje pokles (viz graf 14). Tento výsledek pro pevnost a modul pružnosti lze přisuzovat typu zvoleného experimentu, kdy pro testování kevlarových tkanin bylo zvoleno intenzivní působení ozonu na kevlar v podobě stálého generovaného ozonu a pro testování kevlarových přízí bylo působení ozonu zprostředkováno uzavřením vzorku v nádobě napuštěné ozonem. Tudíž dle výsledků experimentu 5 a 6 by se dalo usuzovat, že působení ozonu by mohlo mít negativní vliv na mechanické vlastnosti kevlaru a výsledek těchto experimentů by mohl být předmětem dalších zkoumání.

### **5.4 Vliv ozonu na smáčivost textilních materiálů**

Podstatou experimentu bylo zjistit, jaký vliv má působení ozonu na smáčivost vybraných textilních materiálů.

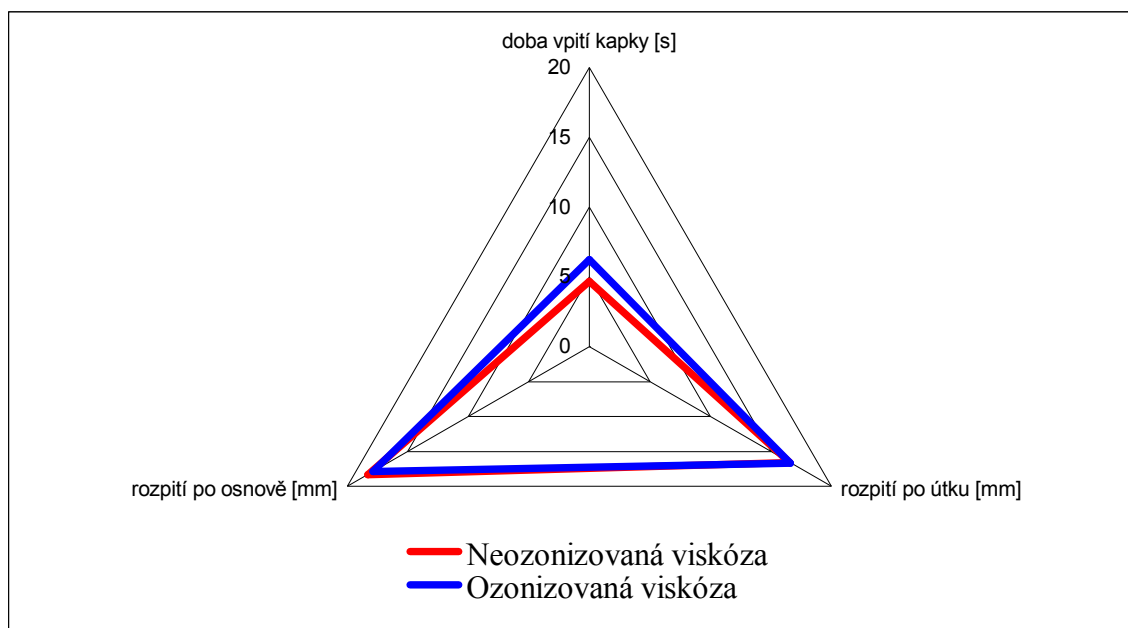
#### **5.4.1 Experiment č. 7 – smáčivost textilních materiálů**

Pro tento experiment byly zvoleny textilní materiály – viskóza, polyester a polyamid. Tyto vzorky textilních materiálů byly připraveny stejným způsobem jako vzorky pro testování vlivu působení ozonu na mechanické vlastnosti tkanin (viz kapitola 5.2.1). Smáčivost byla testována pomocí mikropipety o objemu - 25  $\mu$ l. Každý vzorek byl testován na třech místech nanesením kapky destilované vody mikropipetou na textilií. U smáčivosti byla sledována doba vpítí kapky do textilie a rozměr vpité kapky měřené po osnově a po útku textilie.

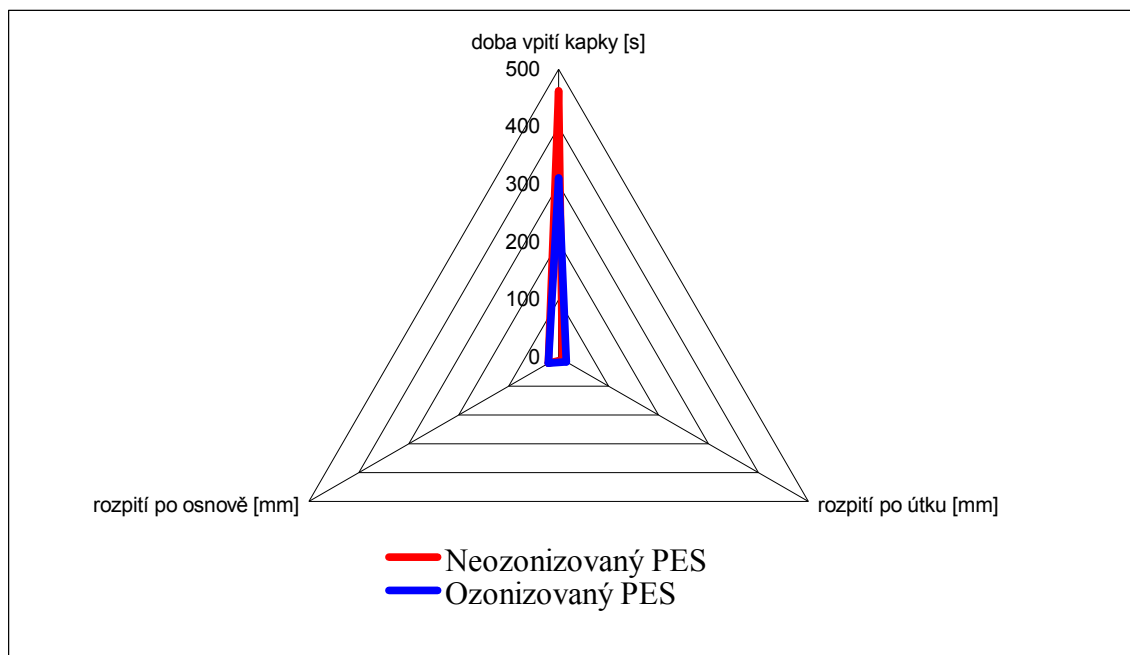
### Výsledky naměřených hodnot:

		Doba vpítí kapky [s]	Rozpítí po osnově [mm]	Rozpítí po útku [mm]
<b>Viskóza</b>	Ozonizované vzorky	6	18	17
	Neozonizované vzorky	5	18	17
<b>PES</b>	Ozonizované vzorky	312	20	16
	Neozonizované vzorky	462	20	8
<b>PA</b>	Ozonizované vzorky	373	16	26
	Neozonizované vzorky	285	24	34

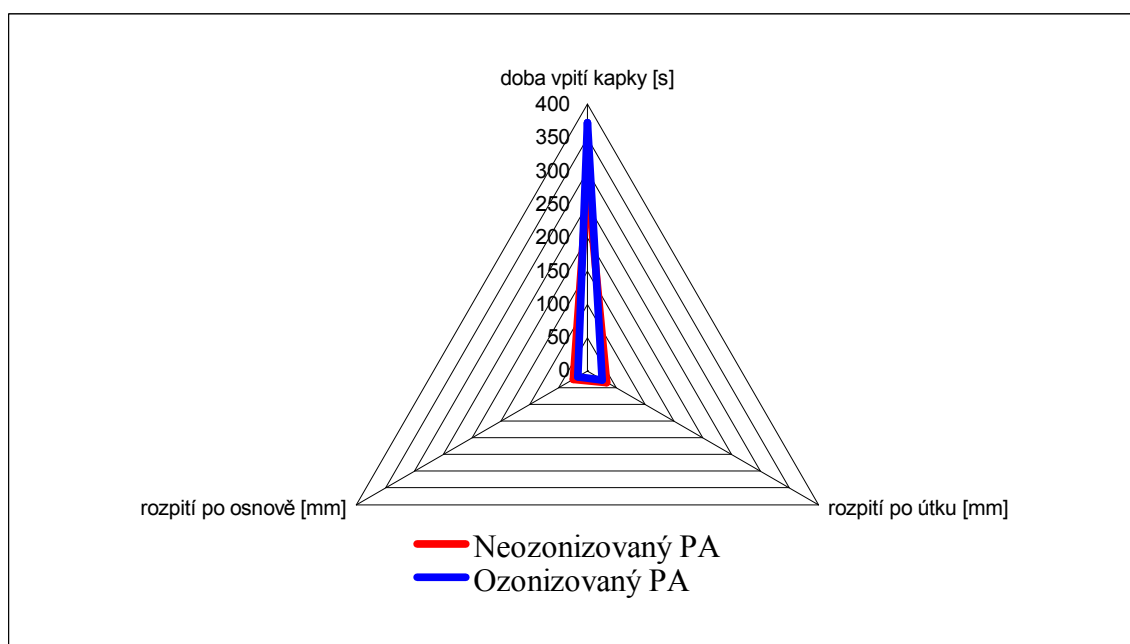
Tab. 12 Smáčivost – výsledky naměřených hodnot (průměry 3x měření)



Graf 15 Smáčivost – viskóza



Graf 16 Smáčivost - polyester



Graf 17 Smáčivost – polyamid

#### 5.4.2 Diskuze výsledků - smáčivost

U smáčivosti byly sledovány tři veličiny a to doba vpítí kapky, respektive čas za který se kapka vody vsákne do textilie, rozměr vpité kapky změřené po osnově a rozměr vpité kapky změřené po útku textilie. Na grafech 15, 16, 17 je patrné, že působení

ozonu nemá významný vliv na rozměr vpité kapky změřené jak po osnově tak ani po útku textilie. Jediná veličina doba vpití kapky vykazuje znatelné rozdíly mezi ozonizovanými a neozonizovanými vzorky. U polyamidové a viskózové tkaniny se vlivem působení ozonu zvýšila doba vpití kapky. Naopak u polyesterové tkaniny se čas potřebný pro vpití kapky snížil vlivem působení ozonu.

## **5.5 Vliv ozonu na odbarvování textilních materiálů**

Předmětem tohoto experimentu bylo zjistit, jaký má vliv působení ozonu na odbarvování textilií. Z předchozího rešeršního zpracování této diplomové práce vyplývá, že ozon je schopný reagovat s některými textilními barvivy, respektive s jejich dvojnými vazbami a způsobovat tak rozklad barviva.

Z textilního hlediska pro tento experiment byla zvolená PA tkanina a PA fólie. Pro porovnání byl pro experiment také připraven pouze roztok barviva. Pro barvení roztoku a textilií bylo zvoleno azobarvivo Oranž II.

K experimentu bylo připraveno 10 vzorků PA tkaniny a 10 vzorků PA fólie o hmotnosti 0,2 g. Pro následné barvení byl připraven zásobní roztok o celkovém objemu 100 ml.

Po obarvení roztoku, PA tkaniny a PA fólie byly připravené vzorky vystaveny působení ozonu dle stanovených parametrů.

Zásobní roztok se skládal z těchto látek:

- 100 ml H<sub>2</sub>O
- 0,1 g barviva Oranž II

Barvicí lázeň se skládala z těchto látek:

- 2000 ml H<sub>2</sub>O
- 2 ml zásobního roztoku (obsah barviva ve 2 ml zásobního roztoku – 0,002 g)
- 4 g/l kyseliny octové (CH<sub>3</sub>COOH)

**Postup barvení:**

- 1) připravit zásobní roztok
- 2) připravit barvicí lázeň pro barvení PA tkaniny
- 3) připravit barvicí lázeň pro barvení PA fólie
- 4) do barvicí lázně pro PA tkaninu vložit 10 připravených vzorků PA tkaniny
- 5) do barvicí lázně pro PA fólie vložit 10 připravených vzorků PA fólie
- 6) obě dvě barvicí lázně postupně zahříváme na teplotu cca 95 °C
- 7) při teplotě cca 95 °C barvíme 60 minut
- 8) po obarvení vyjmeme vzorky z barvicích lázní a necháme na filtračním papíře usušit

**5.5.1 Experiment č. 8 – odbarvování roztoku barviva**

Podstatou experimentu je vliv působení ozonu na barvivo (azobarvivo Oranž II). Pro sledování působení ozonu na barvivo bylo připraveno 12 roztoků o objemu 100 ml s obsahem 0,2 ml již připraveného zásobního roztoku barviva:

- 100 ml H<sub>2</sub>O
- 0,2 ml zásobního roztoku

Takto připravené roztoky byly podrobeny působení ozonu v časových intervalech – 5 s, 10 s, 20 s, 30 s, 45 s, 60 s, 90 s, 120 s, 180 s, 240 s a 300 s.

Generátor ozonu pro testování byl nastaven:

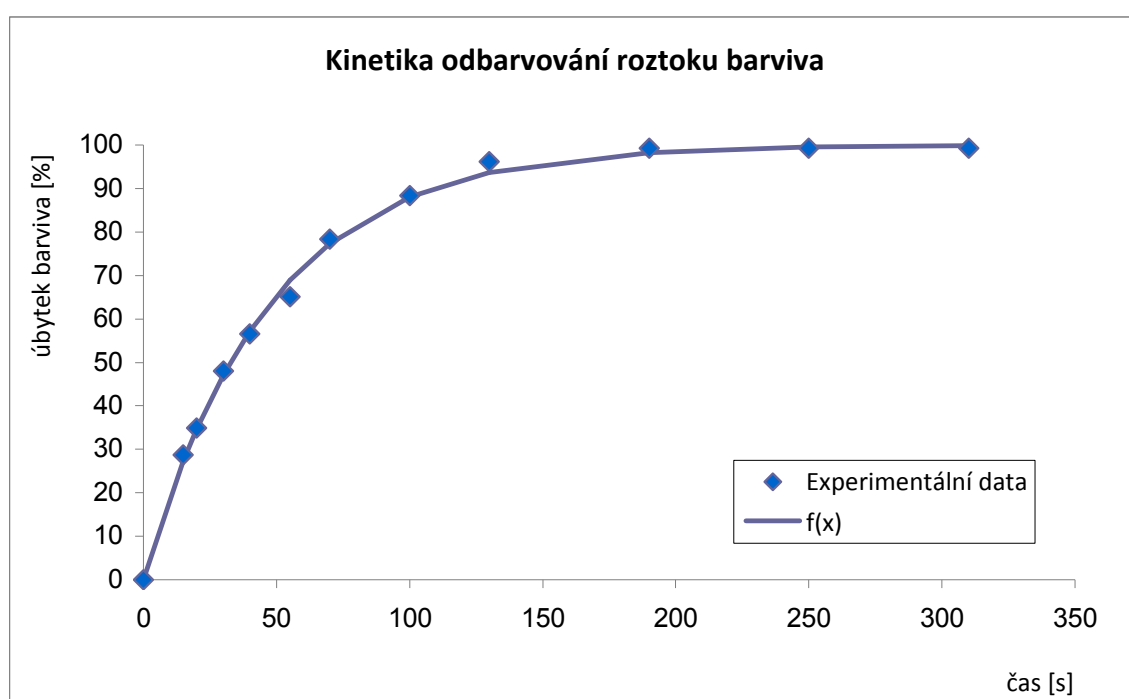
- výkon - 80 %
- průtok - 4 l/min

A následně byly vzorky proměřeny na spektrofotometru a byla tak zjišťována hodnota absorbance (průchod světla skrz vzorek) v jednotlivých roztocích, přičemž azobarvivo Oranž II má vlnovou délku 485 nm.

### Výsledky měření:

Oranž II. - 485 nm						
Čas	0s	5s	10s	20s	30s	45s
Absorbance	0,129	0,092	0,084	0,067	0,056	0,045
Čas	60s	90s	120s	180s	240s	300s
Absorbance	0,028	0,015	0,005	0,001	0,001	0,001

*Tab. 13 Naměřené hodnoty absorpance testovaných roztoků pro různé doby ozonizace*



*Graf 18 Kinetika odbarvování roztoku barviva (Oranž II)*

Graf 18, znázorňující kinetiku odbarvování roztoku barviva v závislosti na čase a úbytku barviva z roztoku, byl zpracován metodou nejmenších čtverců. Naměřená experimentální data v grafu byla proložena exponenciální funkcí:

$$f(x) = 100 * (1 - e^{-kt}) \quad (35)$$

kde  $k$  je regresní konstanta  $k=0,021$  a  $t$  je čas, respektive doba ozonizace.

### 5.5.2 Experiment č. 9 – odbarvování PA fólie

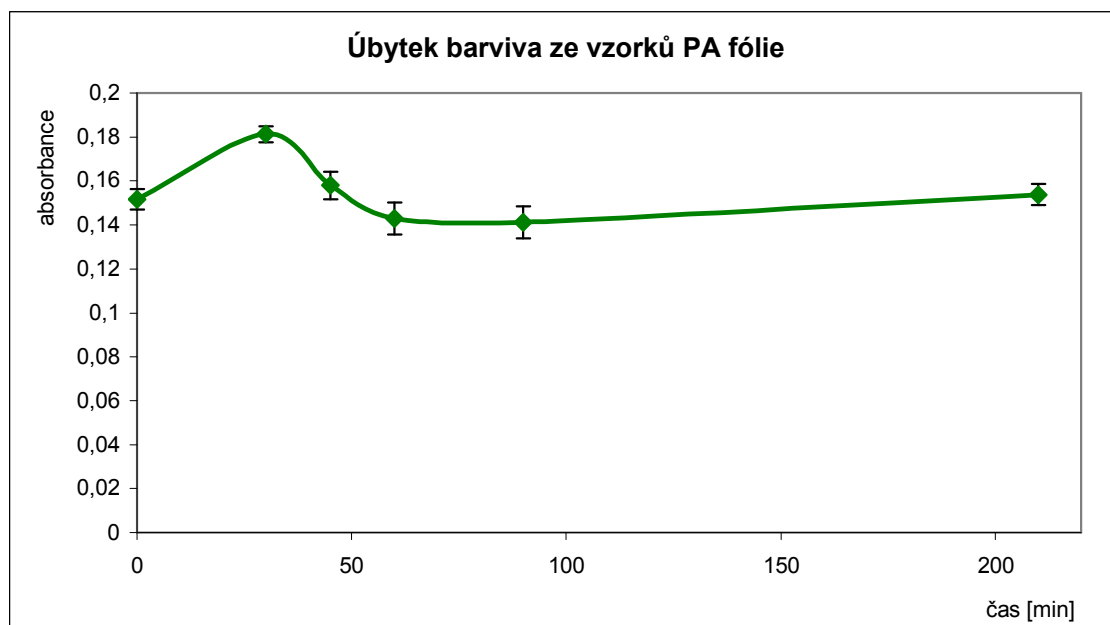
Vliv působení ozonu na obarvené PA fólie byl testován v 100 ml lázních destilované vody, do kterých byly vkládány vzorky obarvené PA fólie. Obarvené textilie byly vystaveny působení ozonu v časových intervalech – 30 min, 45 min, 60 min, 90 min a 210 min.

Generátor ozonu pro testování byl nastaven:

- výkon – 80 %
- průtok – 4 l/min

Po vystavení působení ozonu byly vzorky PA fólie vyjmuty z lázně a usušeny na filtračním papíře. Následně byly vzorky podrobeny měření absorbance na spektrofotometru, respektive byl měřen úbytek barviva z PA fólie vlivem působení ozonu. Azobarvivo Oranž II má vlnovou délku 485 nm.

**Výsledky měření:**



*Graf 19 Průběh úbytku barviva na vzorcích PA fólie, znázornění 95% intervalu spolehlivosti*

### 5.5.3 Experiment č. 10 – odbarvování PA tkaniny

Vzorky PA tkaniny byly podrobeny působení ozonu stejným způsobem jako vzorky PA fólie a se stejnými časovými intervaly. Generátor ozonu byl nastaven také stejným způsobem jako pro testování vzorků PA fólie.

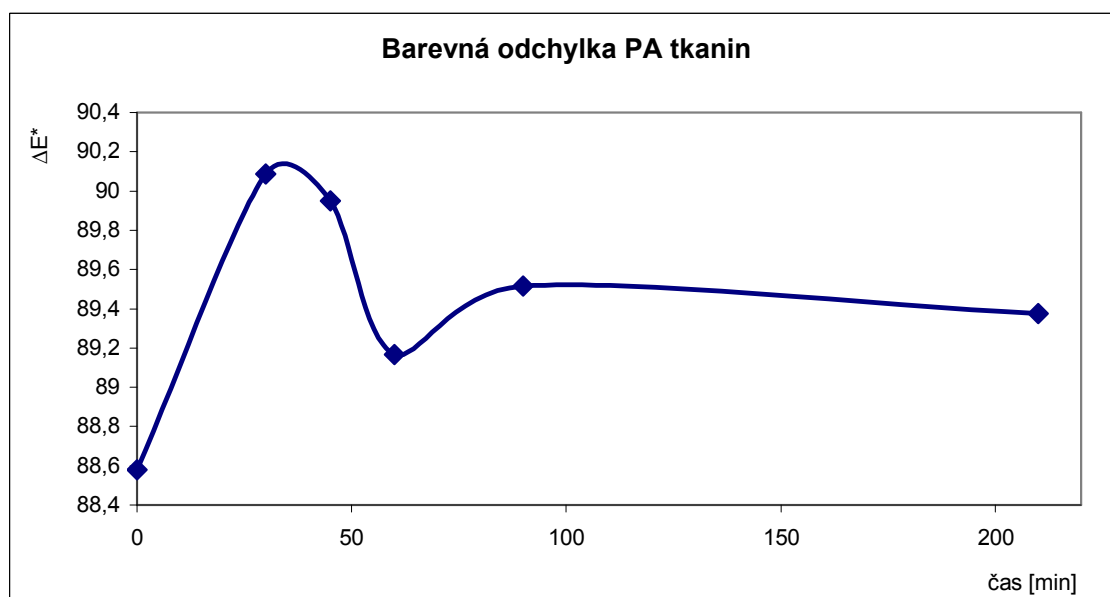
Na spektrofotometru byly proměřeny barevné odchylky (odraz světla od PA tkaniny) jednotlivých časových intervalů PA tkanin. Naměřené hodnoty byly pomocí počítačového programu kompatibilního se spektrofotometrem zprůměrovány a následně vypočítána barevná odchylka podle vzorce 36:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (36)$$

#### Výsledky měření:

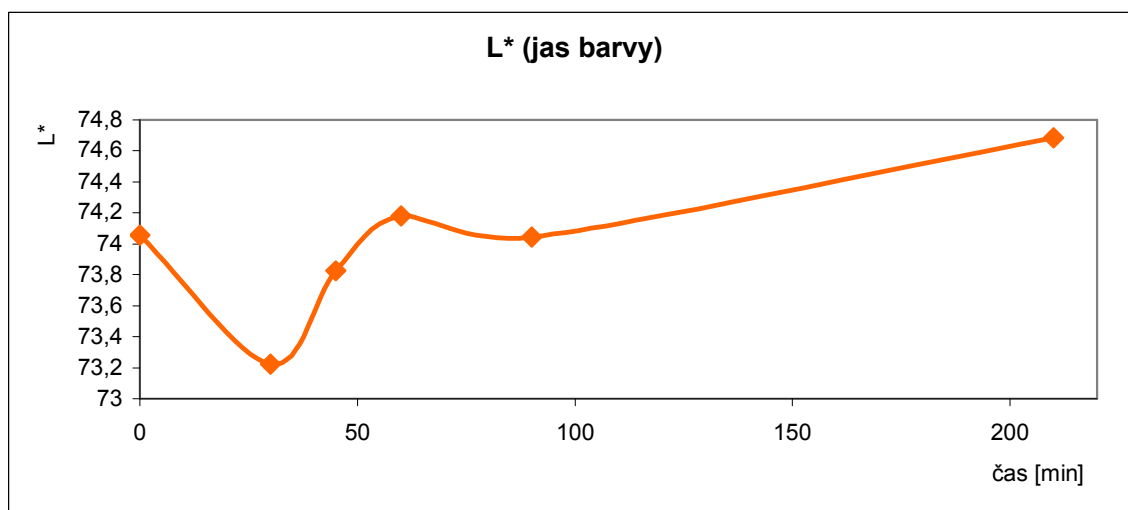
Barevná odchylka PA tkanin						
	0 min	30 min	45 min	60 min	90 min	210 min
$\Delta E^*$	88,58	90,09	89,95	89,17	89,52	89,37

Tab. 14 Vypočítaná barevná odchylka  $\Delta E^*$  PA tkanin pro různé doby ozonizace

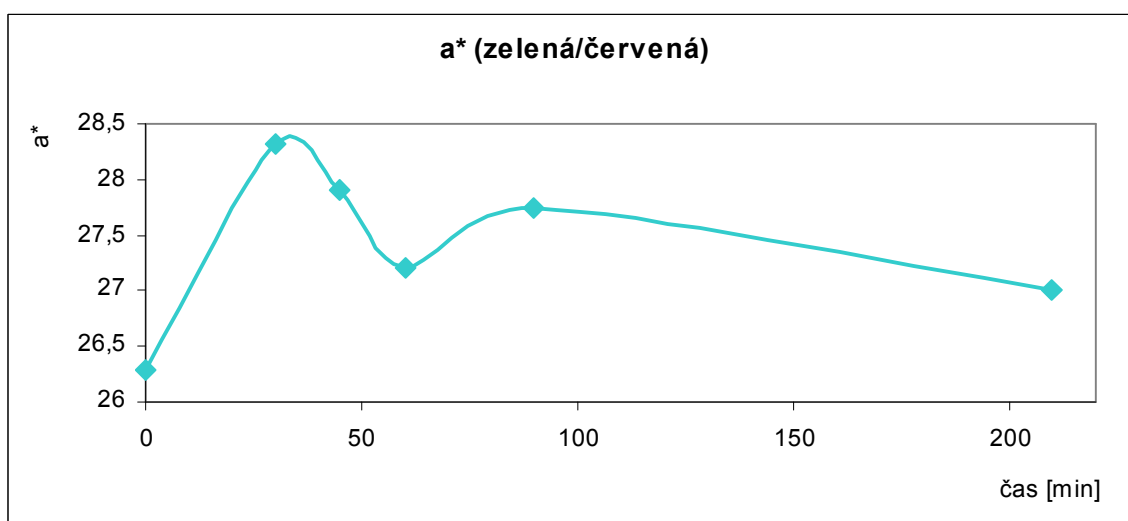


Graf 20 Barevná odchylka  $\Delta E^*$  PA tkanin v závislosti na čase

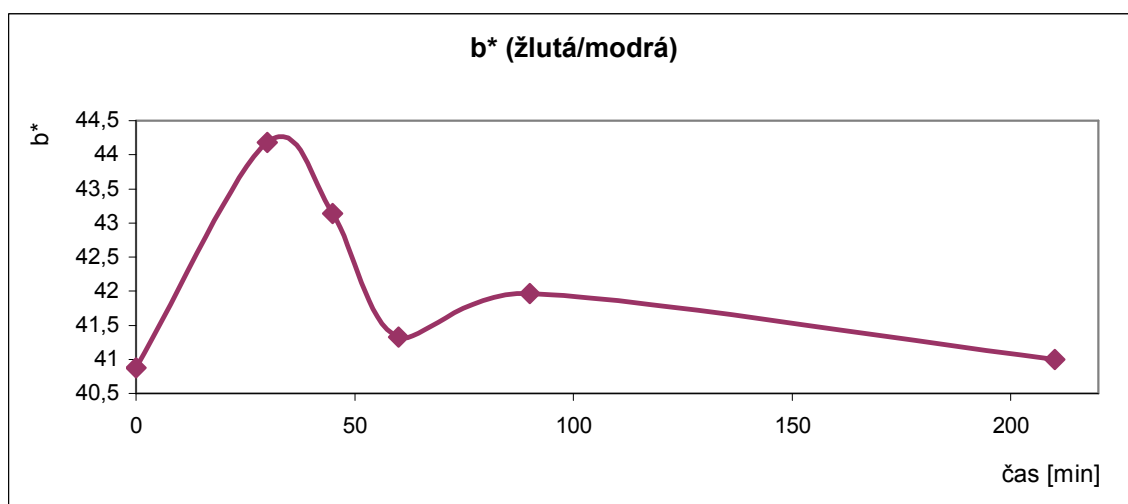




Graf 21 Hodnota L\* (jas barvy)



Graf 22 Hodnota a\* (zelená/červená)



Graf 23 Hodnota b\* (žlutá/modrá)

#### **5.5.4 Vliv ozonu na odbarvování textilních materiálů – diskuze výsledků**

Shrnutím experimentů pro odbarvování pomocí působení ozonu byly dosaženy různé výsledky pro obarvený roztok, PA fólie a PA tkaniny. U experimentu, kde byl vystaven obarvený roztok vlivu působení ozonu, bylo sledováno postupné odbarvování roztoku až do čiré kapaliny. Ozon v tomto případě reaguje s dvojnými vazbami barviva Oranž II a dochází tak k postupnému úbytku barviva z roztoku.

Výsledky experimentu odbarvování PA fólie pomocí působení ozonu nevykazují známky odbarvování PA fólie. Ozon v tomto případě pravděpodobně nemá významný vliv na odstranění barviva (Oranž II) z PA fólie.

Ani výsledky experimentu odbarvování PA tkaniny neprokázaly, že by ozon měl významný vliv na odstranění barviva (Oranž II) z PA tkaniny.

Pro odbarvování textilních materiálů (PA fólie, PA tkaniny) byl zvolen maximální čas působení ozonu 210 minut. Při tomto stanoveném čase došlo k velmi mírnému poklesu barviva u PA fólie a PA tkaniny. Otázkou zůstává, jaký vliv by mělo zvýšení času působení ozonu např. v rádech hodin na obarvené textilní materiály. Tato otázka by mohla být předmětem dalšího zkoumání.

### **5.6 Vliv ozonu na chemické poškození bavlny**

Dle výsledků experimentu působení ozonu na mechanické vlastnosti přízí (viz kapitola 5.2.2) bylo zjištěno, že ozon má degradační účinky na bavlněná vlákna. Tudíž byl proveden test chemického poškození pomocí stanovení Cu-čísla a následného pokusu obarvením methylenovou modří. K experimentu byly použity bavlněné příze neozonizované a bavlněné příze vystavené působení ozonu po dobu 330 hodin (ozonizace 5 minut) z experimentu uvedeným v kapitole 5.2.2.

#### **5.6.1 Experiment č. 11 - chemické poškození bavlny**

Záměrem tohoto experimentu bylo prozkoumání poškození bavlněných přízí, které byly vystaveny působení vlivu ozonu. Poškození bylo stanoveno pomocí měďného čísla a obarvení vzorku methylenovou modří.

Metoda stanovení měďného čísla (Cu-čísla) je jednou z nejpoužívanějších aplikovaných metod kvantitativního stanovení hydrocelulózy a zároveň stanovení poškození celulóзовého vlákna. Cu-číslo udává množství mědi v gramech, které se vyredukuje zkoušeným materiálem (přítomnost aldehydických skupin). Ke stanovení Cu-čísla se používá Fehlingovo činidlo (Fehling I –  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , Fehling II –  $\text{NaOH} + \text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , roztok III –  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$  konc. v 1 litru). [28]

Methylenová modř je aromatické barvivo, které se váže na karboxylové skupiny. Silně poškozená celulóza má oxidované –OH skupiny. Oxidací celulózy (poškozením) dochází ke vzniku oxycelulózy, která obsahuje –COOH a –CHO skupiny. [28]

#### Postup stanovení Cu-čísla:

- 1) připravit Fehlingův roztok slitím Fehlingova roztoku I + Fehlingova roztoku II o stejných objemech (25 ml + 25 ml)
- 2) Fehlingův roztok přivést k varu
- 3) vložit na 3 minuty zvážený vzorek bavlněných přízí do vroucího Fehlingova roztoku
- 4) po uplynutí doby působení Fehlingova roztoku vzorek vyjmeme a důkladně propláchneme velkým množstvím vody
- 5) propláchnutý vzorek vložíme do 25 ml studeného silně kyselého roztoku  $\text{Fe}^{3+}$  (roztok III) a necháme působit tak dlouho, dokud se  $\text{Cu}_2\text{O}$  usazený na vlákně nerozpustí
- 6) obsah kádinky bez vzorku (roztok III) přelijeme do baňky a vzorek ještě propláchneme malým množstvím vody, tu také přilijeme do baňky
- 7) obsah baňky titrujeme 0,02M roztokem  $\text{KMnO}_4$  až do prvního trvalého růžového zabarvení titrovaného roztoku
- 8) z byrety odečteme spotřebované množství 0,02M roztoku  $\text{KMnO}_4$
- 9) spočítat Cu-číslo

#### Výpočet Cu-čísla:

$$\text{Číslo mědi} \quad \check{c}_{\text{Cu}} = \frac{0,636 * n}{g} \quad (37)$$

kde  $n$  je spotřeba 0,02M roztoku  $\text{KMnO}_4$  [ml] a  $g$  je hmotnost zkoumaného vzorku [g]. [28]

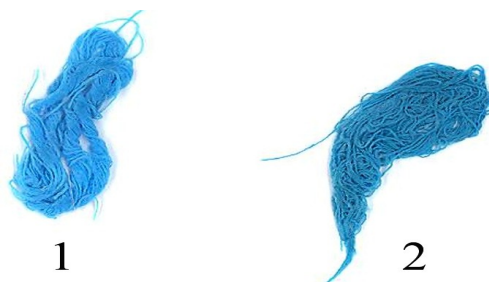
Stanovení Cu-čísla			
	Hmotnost [g]	Spotřeba 0,02M KMnO <sub>4</sub> [ml]	Cu-číslo
Neozonizovaná bavlna	0,056	0,1	1,14
Ozonizovaná bavlna	0,055	1,2	13,88

Tab. 15 Stanovení Cu-čísla

#### Postup obarvení methylenovou modří:

- 1) připravit 10 ml methylenové modře do kádinky
- 2) vložit vzorek bavlněných přízí do methylenové modře
- 3) ponechat vzorek v methylenové modři 2 minuty
- 4) vzorek vyjmout a propláchnout
- 5) porovnat vizuálně obarvení neozonizovaného a ozonizovaného vzorku

#### Výsledek barvení methylenovou modří:



Obr. 8 Obarvené bavlněné vzorky methylenovou modří, 1) neozonizovaný vzorek bavlněných přízí, 2) ozonizovaný vzorek bavlněných přízí

#### 5.6.2 Diskuze výsledků – chemické poškození bavlny

Tímto experimentem byly prokázány degradační účinky ozonu na bavlněná vlákna. Pro neozonizovaný vzorek bavlněných přízí bylo stanoveno měďné číslo 1,14 a pro ozonizovaný vzorek (působení ozonu – 330 hodin) bylo měďné číslo stanoveno na 13,88. Mezi těmito stanovenými měďnými čísly je prokazatelný rozdíl a měďné číslo ozonizovaného vzorku bavlněných přízí jasně hovoří o poškození bavlněných vláken. Také obarvení bavlněných přízí methylenovou modří vykazuje poškození bavlněných vláken. Na obr. 8 je jasně viditelné pouhým okem, že ozonizované vzorky bavlněných přízí se obarvili do sytějšího odstínu.

## 6. Závěr

Tato práce se zabývala možnými změnami vlastností textilních materiálů či změnou v textilní technologii vlivem působení ozonu. Pro experimentální část této práce bylo provedeno několik experimentů, kde zkoumané vzorky byly vystaveny působení ozonu a následně byly testovány vlastnosti zkoumaných vzorků, respektive bylo testováno, zda působení ozonu má kladný či negativní vliv na zkoumané vlastnosti textilních materiálů a technologií. Působení ozonu na zkoumané vzorky bylo ovlivněno vstupními variabilními veličinami (čas působení ozonu na vzorek, výkon generátoru ozonu, průtok ozonu).

Výsledky a průběh všech provedených experimentů prokázaly, že je za potřeby určité množství koncentrace ozonu v závislosti na čase. Experimenty prokázaly, že čím delší reakční čas působení ozonu a vyšší výkon generátoru ozonu je použito, tím je pravděpodobnější možnost změn vlastností zkoumaného vzorku. Nicméně ozon jako silné reakční činidlo je se zkoumanými vzorky schopný reagovat i při nižším výkonu generátoru ozonu a kratších reakčních časech.

Pro experimentální část bylo provedeno několik různých experimentů zaměřených na sledování různých vlastností materiálů a s použitím různých textilních materiálů a technologií. Bylo sledováno množství spotřebovaného ozonu v interakci s textilním materiálem, vliv ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů, vliv ozonu na smáčivost textilních materiálů, vliv ozonu na odbarvování roztoku barviva a textilních materiálů a vliv ozonu na chemické poškození bavlny.

### **Shrnutí naměřených výsledků provedených experimentů:**

Dle výsledků provedených experimentů pro sledování působení ozonu a koncentrace ozonu v interakci s textilními materiály bylo zjištěno, že textilní materiál nemá významný vliv na množství koncentrace ozonu prošlého skrz vzorek textilního materiálu. Avšak ozon s textilními materiály reaguje a tato reakční schopnost ozonu je ovlivněna chemickým složením textilního materiálu, chemickým složením zušlechťovací úpravy, nebo vlivem zušlechťovací úpravy na chemické vlastnosti upraveného textilního materiálu. Dle provedených experimentů byla zjištěna vysoká

reaktivita vůči ozonu pro bavlnu a POP u testovaných plošných textilií a pro testovaná vlákna byla zjištěna vysoká reaktivita vůči ozonu pro králičí chlupy a vlnu.

### **Vliv působení ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů**

Působení ozonu a následnému testování mechanických vlastností byly vystaveny klasické textilní materiály (bavlna bělená, bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou, bavlna odšlichtovaná, PA, POP, PES, viskóza a vlna) a speciální textilní materiál (kevlar). Všechny tyto textilní materiály byly testovány v podobě tkanin a přízí.

Výsledky testovaných tkanin klasických textilních materiálů vykazují velmi slabý rozdíl v tahových křivkách mezi ozonizovanými a neozonizovanými vzorky. Znatelný rozdíl akorát vykazují bavlněné vzorky vystavené působení ozonu. Bavlněné vzorky tkanin vykazují snížení pevnosti a tažnosti. Lze tedy předpokládat, že vlivem působení ozonu došlo k degradaci bavlněných vláken.

Výsledky testovaných přízí klasických textilních materiálů také vykazují znatelnou změnu mechanických vlastností právě u bavlněných přízí. U testování přízí byl zvolen delší reakční čas působení ozonu a bylo tak možné na výsledcích výrazněji pozorovat vliv působení ozonu na snížení mechanických vlastností bavlněných přízí.

Speciální textilní materiál Kevlar vlivem působení ozonu nevykazuje významné změny mechanických vlastností. Aby došlo ke změně mechanických vlastností u Kevlaru je za potřebí dlouhých reakčních časů působení ozonu. U testovaných kevlarových přízí byly zvoleny delší reakční časy působení ozonu a byl tak sledován velmi slabý pokles pevnosti, avšak u výsledků testovaných kevlarových přízí bylo možné sledovat v počátku působení ozonu na kevlar nárůst pevnosti.

### **Vliv působení ozonu na smáčivost textilních materiálů**

Vlivem působení ozonu na textilní materiál dochází pravděpodobně k chemickým změnám textilních vláken a to má za následek změnu smáčivosti textilních materiálů. Pro smáčivost textilních materiálů byly testovány tři veličiny – doba vpití kapky do textilie, rozměr vpité kapky změřené po osnově a rozměr vpité kapky změřené po útku textilie. Působením ozonu na textilní materiály došlo k pozorovatelným rozdílům mezi ozonizovanými a neozonizovanými vzorky textilních materiálů u doby vpití kapky do textilie. Dle typu chemického složení daných textilních materiálů došlo vlivem působení ozonu buď k zvýšení doby vpití kapky a nebo k snížení doby vpití kapky.

### **Vliv působení ozonu na odbarvování roztoku barviva a textilních materiálů**

Pro experimenty s odbarvováním vlivem působení ozonu byl zvolen roztok barviva Oranž II a obarvené PA textilie Oranží II (PA fólie, PA tkaniny). Výsledky těchto experimentů potvrzují informace získané rešeršním zpracováním této práce, respektive ozon reaguje s dvojnými vazbami barviva a dochází tak postupnému úbytku barviva z roztoku až do čiré kapaliny.

Výsledky odbarvování vlivem působení ozonu PA fólie a PA tkaniny nevykazují takový efekt úbytku barviva jako u barevného roztoku. V rámci dlouhého reakčního času u PA textilií došlo jen k velmi mírnému úbytku barviva z textilního materiálu. Barvivo je v případě obarveného textilního materiálu navázané na molekuly polymerů textilních materiálů a je tak barvivo prakticky chráněno matricí polymeru.

Efekt odbarvování roztoku barviva vlivem působení ozonu by se v textilní praxi mohl aplikovat při čištění textilních odpadních vod vyprodukovaných po barvicích procesech textilních materiálů. Respektive odstraňování zbytků barviva v odpadních vodách.

### **Vliv ozonu na chemické poškození bavlny**

Pomocí stanovení měďného čísla a obarvení methylenovou modří bylo prokázáno chemické poškození bavlny, na které poukazovaly změny výše testovaných mechanických vlastností. Ozon výrazně reaguje, oproti ostatním textilním materiálům, s bavlnou (celulóza) a dochází tak k chemickému rozkladu celulózových makromolekul bavlny. Ozon má degradační účinky na bavlněná vlákna.

Z těchto výsledků je zřejmé, že vlivem působení ozonu došlo ke změnám vlastností textilních materiálů a technologií. V některých případech bylo dosaženo pozorovatelných změn vlastností a v některých případech nedošlo k významným změnám vlastností. Aplikace ozonu v textilní praxi má jistě význam a může být předmětem dalšího zkoumání v jiných pracích.

## 7. Seznam použité literatury:

- [1] Aplikace ozonových technologií, [on-line] Dostupné 15.9. 2013 z WWW:  
<<http://www.aplikaceo3.cz/?page=3>>
- [2] Unčovský, O.: Všechno co jste kdy chtěli vědět o ozonu a UV, [on-line] Dostupné 15.9. 2013 z WWW: <<http://www.asio.cz/cz/161.vsechno-co-jste-kdy-chteli-vedet-o-ozonu-a-uv-ale-bali-jste-se-zeptat>>
- [3] O3 technology, [on-line] Dostupné 15.9. 2013 z WWW:  
<<http://www.ozonovani.cz/www-ozonovani-cz/15-HISTORIE-O3>>
- [4] Lenntech, History of ozone, [on-line] Dostupné 15.9. 2013 z WWW:  
<<http://www.lenntech.com/library/ozone/history/ozone-history.htm>>
- [5] Ozofresh, The ozone timeline-the full history of ozone, [on-line] Dostupné 20.9.2013 z WWW: <<http://ozofresh.co.uk/the-ozone-timeline-the-full-history-of-ozone.html>>
- [6] Therapy systems, Historie užití aktivního kyslíku-ozonu v medicíně, [on-line] Dostupné 20.9. 2013 z WWW: <<http://www.therapy.cz/historie-aktivniho-kysliku.php>>
- [7] EPA: Alternative Disinfectants and oxidants Guidance Manual, United States Enviromental Protection Agency, Office of Water (4607), EPA 815-R-99-014, [on-line] Dostupný 20.9.2013 z WWW:  
<[http://www.epa.gov/safewater/mdbp/alternative\\_disinfectants\\_guidance.pdf](http://www.epa.gov/safewater/mdbp/alternative_disinfectants_guidance.pdf)>
- [8] Militký, J.: Textilní vlákna, Technická univerzita v Liberci, 2002
- [9] Horváth, M., Bilitzky, L.: Ozone, Akadémiai Kiadó, Budapest 1985,  
ISBN 9630533588
- [10] Rice, R., G., Netzer, A.: Handbook of ozone technology and applications volume 1, Ann arbor science, 1982, ISBN 0250403242
- [11] Leonardo M. da Silva; Wilson F. Jardim: Trends and strategies of ozone application in environmental problems, [on-line] Dostupné 18.11. 2013 z WWW:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422006000200023&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000200023&lng=en&nrm=iso)>
- [12] Výukový materiál FCH, VUT, Praktikum z plazmochemie I, návod k úloze: Studium generace ozónu. [on-line] Dostupné 20.11. 2013 z WWW:  
<[www.vutbr.cz/elearning](http://www.vutbr.cz/elearning)>



- [13] Ozone titration method for NIST-Traceable calibration of nitric oxide monitors,  
[on-line] Dostupné 20.11. 2013 z WWW:  
<[http://www.twobtech.com/NO\\_calibration\\_procedure.pdf](http://www.twobtech.com/NO_calibration_procedure.pdf)>
- [14] Hach, [on-line] Dostupné 20.11. 2013 z WWW: <[www.hach.com](http://www.hach.com)>
- [15] Majewsky, J.: Methods for measuring ozone concentration in ozone-treated water,  
Lublin University Technology, [on-line] Dostupné 20.11. 2013 z WWW:  
<<http://pe.org.pl/articles/2012/9b/61.pdf>>
- [16] McElroy, F., Mikel, D., Ness, M.: Determination of ozone by ultraviolet analysis,  
1997,[on-line] Dostupné 25.11. 2013 z WWW:  
<<http://mattson.creighton.edu/Ozone/OzoneEPAMethod.pdf>>
- [17] Long life ozone tech, [on-line] Dostupné 30.11. 2013 z WWW:  
<<http://www.longlifeo3.com/en/showPro.asp?id=44>>
- [18] Pospíšilová, M.: Využití ozonu při zpracování ovoce a zeleniny, 2007, [on-line]  
Dostupné 30.11. 2013 z WWW: <<http://www.bezpecnostpotravin.cz/vyuziti-ozonu-pri-zpracovani-ovoce-a-zeleniny.aspx>>
- [19] TrioTech s.r.o.-Generátor ozonu – Návod k použití
- [20] Triotech, [on-line] Dostupné 8.12. 2013 z WWW: <[www.triotech.cz](http://www.triotech.cz)>
- [21] Seznam zařízení, Technická univerzita Liberec [on-line] Dostupné 8.12. 2013  
z WWW: <<http://www.ktt.tul.cz/?page=pristroje&lang=en>>
- [22] Katalog přístrojů a služeb, Univerzita Palackého v Olomouci [on-line] Dostupné  
8.12. 2013 z WWW: <<http://www.upol.cz/struktura-up/univerzitni-zarizeni/vedeckotechnicky-park/katalog/?ctl=device&ctlid=71&idLng=cz>>
- [23] Datacolor, [on-line] Dostupné 8.12. 2013 z WWW:  
<<http://industrial.datacolor.com/>>
- [24] Sigma-Aldrich, [on-line] Dostupné 15.12. 2013 z WWW:  
<<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/fluka/75370?lang=en&region=CZ>>
- [25] Silva, A., C., Pic, J., S., Sant'Anna Jr., G., L., Dezotti, M.: Ozonation of azo dyes  
(Orange II and Acid Red 27) in saline media, Elsevier, 2009, Journal of Hazardous  
Materials 169(2009)965-971 [on-line] Dostupné 20.11. 2013 z WWW:  
<[www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>
- [26] Gomes, A., C., Nunes J., C., Simões, R., M.S.: Determination of fast ozone  
oxidation rate for textile dyes by using a continuous quench-flow system, Elsevier,  
2010, Journal of Hazardous Materials 178(2010)57-65 [on-line] Dostupné  
20.11.2013 z WWW: <[www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>

- [27] Merckmillipore, [on-line] Dostupné 15.12. 2013 z WWW:  
<[http://www.merckmillipore.com/czech-republic/chemicals/methylenova-mod%C5%99-c-i-52015/MDA\\_CHEM-159270/p\\_ghGb.s1L\\_mIAAAEWs.EfVhTI](http://www.merckmillipore.com/czech-republic/chemicals/methylenova-mod%C5%99-c-i-52015/MDA_CHEM-159270/p_ghGb.s1L_mIAAAEWs.EfVhTI)>
- [28] Wiener J., Průšová M., Kryštůfek J.: Chemicko-textilní rozbor, Technická univerzita v Liberci, 2008
- [29] Synthesia, [on-line] Dostupné 28.12. 2013 z WWW:  
<<http://dyes.synthesia.eu/cze/organicka-barviva/textilni-barviva/egacidova-oranz-ii-120>>
- [30] Cangzhou xincheng weiye chemical Co., Ltd., [on-line] Dostupné 28.12. 2013 z WWW: <[http://czxcwy.en.alibaba.com/product/512136791-213122346/Methylene\\_Blue\\_Basic\\_Blue\\_9\\_CI\\_52015\\_25KG\\_Drum\\_.html](http://czxcwy.en.alibaba.com/product/512136791-213122346/Methylene_Blue_Basic_Blue_9_CI_52015_25KG_Drum_.html)>

## Seznam tabulek:

- Tab. 1 Valenční úhly a atomové vzdálenosti ozonových izotopů stanovené třemi různými frekvencemi mikrovlnné spektroskopie [9]
- Tab. 2 Viskozita kapalného ozonu při různých teplotách [9]
- Tab. 3 Povrchové napětí kapalného ozonu při různých teplotách [9]
- Tab. 4 Přehled vypočítané hodnoty  $t_{0,9}$  pro všechny testované plošné textilie
- Tab. 5 Přehled vypočítané hodnoty  $t_{0,9}$  pro všechna testovaná vlákna
- Tab. 6 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu [N]
- Tab. 7 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu [N] pro různé doby ozonizace (10x měření)
- Tab. 8 Přehled hodnot modulu pružnosti pro různé doby ozonizace
- Tab. 9 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu [N] pro různé doby ozonizace
- Tab. 10 Přehled průměrných naměřených hodnot pro sílu do přetrhu [N] pro různé doby ozonizace
- Tab. 11 Přehled hodnot modulu pružnosti
- Tab. 12 Smáčivost – výsledky naměřených hodnot
- Tab. 13 Naměřené hodnoty absorbance testovaných roztoků pro různé doby ozonizace
- Tab. 14 Vypočítaná barevná odchylka  $\Delta E^*$  PA tkanin
- Tab. 15 Stanovení Cu-čísla

## Seznam obrázků:

- Obr. 1 Geometrie a vaznost ozonu [9]
- Obr. 2 Schéma korony [10]
- Obr. 3 Experimentální uspořádání zařízení pro generování ozonu a měření koncentrace ozonu
- Obr. 4 Generátor ozonu Triotech Go5-labK
- Obr. 5 Analyzátor koncentrace ozonu LF2000 [17]
- Obr. 6 Chemický vzorec Oranže II [24]
- Obr. 7 Chemický vzorec methylenové modře [27]
- Obr. 8 Obarvené bavlněné vzorky methylenovou modří, 1) neozonizovaný vzorek bavlněných přízí, 2) ozonizovaný vzorek bavlněných přízí

## Seznam grafů:

Graf 1 Průběh množství koncentrace ozonu – prázdný vzorek. Rovnice regrese byla

použita pro výpočet hodnoty  $t_{0,9}$  ( $t_0$ ,  $t_{0,9}$ ,  $c_\infty$ ,  $c_{\infty,9}$ ).

Graf 2 Přehled výsledných tahových křivek ozonizovaných a neozoneizovaných

vzorků tkanin (osa x – prodloužení [mm], osa y – pevnost [N])

Graf 3 Celkový přehled průměrných hodnot testovaných tkanin ze tří měření,

znázornění 95% intervalů spolehlivosti

Graf 4 Bavlna – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (10x měření)

Graf 5 Polyester – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (10x měření)

Graf 6 Vlna – průměrné tahové křivky jednotlivých časových intervalů (10x měření)

Graf 7 Vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti – bavlna, PES, vlna (příze)

Graf 8 Vliv působení ozonu na modul pružnosti přízí (bavlna, PES, vlna)

Graf 9 Kevlarová tkanina (osnova) – průměrné tahové křivky jednotlivých časových

intervalů (5x měření)

Graf 10 Kevlarová tkanina (útek) – průměrné tahové křivky jednotlivých časových

intervalů (5x měření)

Graf 11 Vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti – osnova, útek

Graf 12 Kevlar – tahové křivky jednotlivých časových intervalů

Graf 13 Vliv působení ozonu v čase na mechanické vlastnosti – kevlar

Graf 14 Vliv působení ozonu na modul pružnosti kevlarových přízí

Graf 15 Smáčivost – viskóza

Graf 16 Smáčivost - polyester

Graf 17 Smáčivost – polyamid

Graf 18 Kinetika odbarvování roztoku barviva (Oranž II)

Graf 19 Průběh úbytku barviva na vzorcích PA fólie, znázornění 95% intervalu

spolehlivosti

Graf 20 Barevná odchylka  $\Delta E^*$  PA tkanin v závislosti na čase

Graf 21 Hodnota  $L^*$  (jas barvy)

Graf 22 Hodnota  $a^*$  (zelená/červená)

Graf 23 Hodnota  $b^*$  (žlutá/modrá)

## 8. Přílohy – výsledky měření

### Příloha č. 1 – Vliv působení ozonu versus množství koncentrace ozonu

#### Experiment č. 1 – plošné textilie – výsledky měření

Naměřené hodnoty koncentrace ozonu jednotlivých textilních materiálů (tkanin).

[s]	Bavlna bělená I.	Bavlna bělená II.	Bavlna bělená III.	Bavlna bělená průměrná hodnota	Bavlna bez škrobu I.	Bavlna bez škrobu II.	Bavlna bez škrobu III.	Bavlna bez škrobu IV.	Bavlna bez škrobu průměrná hodnota
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0,4	0	0	0,1	0	0	0	0	0
20	0,8	0	0	0,3	0	0,2	0	0	0,1
25	1	0	0	0,3	0,6	0,6	0	0	0,3
30	1,2	0,2	0	0,5	1	0,8	0	0	0,5
35	1,2	0,4	0,2	0,6	1,1	1,1	0	0	0,6
40	1,3	0,6	0,2	0,7	1,1	1,1	0	0	0,6
45	1,3	0,6	0,2	0,7	1,2	1,2	0	0,2	0,7
50	1,3	0,8	0,2	0,8	1,3	1,3	0,2	0,2	0,8
55	1,4	0,8	0,2	0,8	1,3	1,4	0,2	0,2	0,8
60	1,4	0,8	0,4	0,9	1,3	1,4	0,4	0,4	0,9
70	1,4	1	0,6	1,0	1,3	1,4	0,6	0,4	0,9
80	1,4	1,1	0,8	1,1	1,3	1,4	0,6	0,4	0,9
90	1,4	1,2	0,8	1,1	1,3	1,4	0,6	0,6	1,0
100	1,4	1,2	0,8	1,1	1,3	1,5	0,6	0,6	1,0
110	1,4	1,2	0,6	1,1	1,4	1,5	0,6	0,6	1,0
120	1,4	1,2	0,6	1,1	1,4	1,6	0,8	0,8	1,2
130	1,3	1,2	0,6	1,0	1,4	1,7	0,8	0,8	1,2
140	1,3	1,2	0,8	1,1	1,4	1,7	0,8	1	1,2
150	1,3	1,2	0,6	1,0	1,3	1,7	1	1	1,3
160	1,3	1,1	0,6	1,0	1,3	1,7	1	1	1,3
170	1,3	1,1	0,6	1,0	1,3	1,7	1	1,1	1,3
180	1,3	1	0,6	1,0	1,3	1,7	1	1,2	1,3
190	1,3	1,1	0,6	1,0	1,3	1,7	1,1	1,2	1,3
200	1,3	1,1	0,6	1,0	1,3	1,7	1,2	1,2	1,4
210	1,3	1	0,8	1,0	1,3	1,7	1,3	1,2	1,4
220	1,3	1,1	0,6	1,0	1,2	1,5	1,3	1,2	1,3
230	1,3	1,1	0,6	1,0	1,3	1,4	1,3	1,2	1,3
240	1,3	1,1	0,8	1,1	1,3	1,5	1,3	1,2	1,3
250	1,3	1	0,8	1,0	1,3	1,5	1,3	1,2	1,3
260	1,2	1	0,6	0,9	1,3	1,5	1,3	1,2	1,3
270	1,2	1	0,6	0,9	1,3	1,6	1,3	1,2	1,4
280	1,2	1	0,6	0,9	1,3	1,5	1,2	1,3	1,3
290	1,2	1	0,6	0,9	1,3	1,6	1,2	1,3	1,4

[s]	PA I.	PA II.	PA III.	PA průměrná hodnota	Bavlna škrob I.	Bavlna škrob II.	Bavlna škrob III.	Bavlna škrob IV.	Bavlna škrob průměrná hodnota
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,2	0	0,2	0,1	0,2	0	0	0	0,1
25	0,6	0,4	1	0,7	0,4	0,6	0	0	0,3
30	1	0,8	1	0,9	0,8	1	0,2	0	0,5
35	1,1	1	1,1	1,1	0,8	1,2	0,4	0,2	0,7
40	1,2	1	1,2	1,1	0,8	1,4	0,6	0,4	0,8
45	1,2	1	1,3	1,2	1	1,4	0,8	0,6	1,0
50	1,3	1	1,4	1,2	1	1,4	1	0,8	1,1
55	1,3	1	1,4	1,2	1	1,5	1	0,8	1,1
60	1,4	1	1,4	1,3	1	1,4	1,1	1	1,1
70	1,4	1	1,4	1,3	1,1	1,4	1,2	1	1,2
80	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
90	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
100	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
110	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
120	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
130	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
140	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
150	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
160	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3
170	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3
180	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3
190	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,2
200	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,2
210	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2
220	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2
230	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3
240	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3
250	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3
260	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
270	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,3
280	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
290	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
300	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2

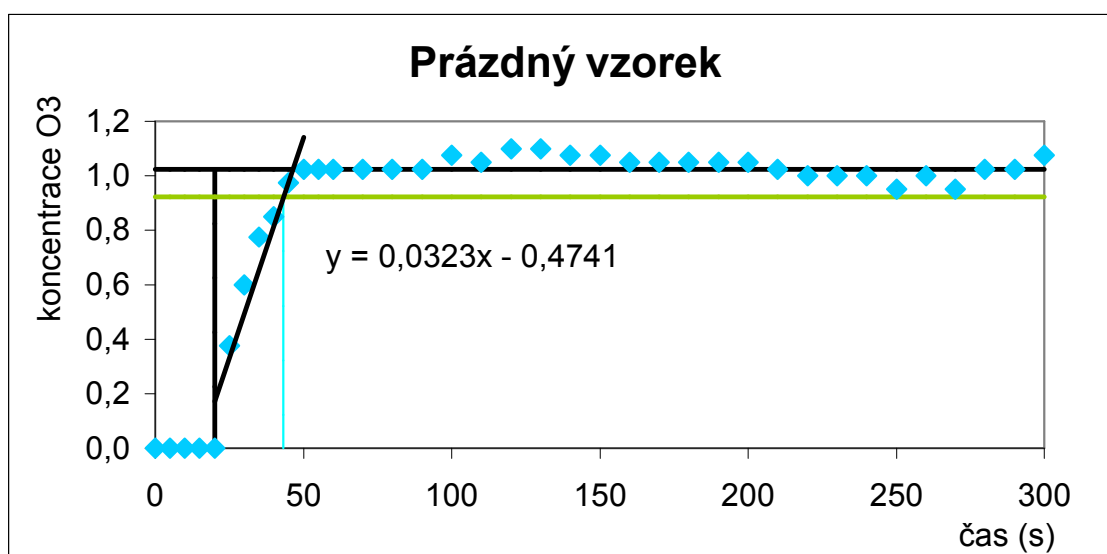
[s]	PES I.	PES II.	PES III.	PES průměrná hodnota	POP I.	POP II.	POP III.	POP průměrná hodnota
5	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0,4	0	0,1	0	0	0	0
25	0,6	1	0,4	0,7	0	0	0	0
30	1,2	1,2	0,8	1,1	0	0	0	0
35	1,4	1,4	1,1	1,3	0	0,2	0,2	0,1
40	1,6	1,4	1,1	1,3	0,6	0,4	0,2	0,4
45	1,6	1,5	1,1	1,4	0,6	0,4	0,2	0,4
50	1,6	1,5	1,1	1,4	1	0,6	0,2	0,6
55	1,6	1,5	1,1	1,3	1,2	0,6	0,2	0,7
60	1,6	1,6	1,1	1,3	1,3	0,6	0,2	0,7
70	1,6	1,6	0,8	1,3	1,3	0,8	0,4	0,8
80	1,6	1,6	0,8	1,3	1,3	0,8	0,4	0,8
90	1,6	1,6	0,8	1,3	1,3	1	0,4	0,9
100	2	1,6	0,8	1,4	1,3	1,1	0,4	0,9
110	2,1	1,6	0,8	1,4	1,3	1,1	0,4	0,9
120	2,1	1,6	0,8	1,4	1,3	1,1	0,4	0,9
130	2,1	1,5	0,8	1,4	1,3	1,2	0,4	1,0
140	2,1	1,5	0,6	1,4	1,3	1,2	0,4	1,0
150	2,1	1,5	0,6	1,4	1,3	1,3	0,4	1,0
160	2,1	1,5	0,8	1,3	1,3	1,2	0,4	1,0
170	2,1	1,5	0,8	1,3	1,3	1,2	0,4	1,0
180	2,1	1,5	0,8	1,3	1,3	1,2	0,4	1,0
190	2,1	1,4	1,5	1,3	1,3	1,3	0,4	1,0
200	2,1	1,4	2	1,3	1,3	1,2	0,4	1,0
210	2,1	1,4	1,8	1,3	1,3	1,2	0,4	1,0
220	2,5	1,4	1,8	1,3	1,3	1,1	0,4	0,9
230	2,7	1,4	1,8	1,3	1,3	1,1	0,4	0,9
240	2,7	1,4	1,8	1,3	1,3	1,1	0,4	0,9
250	2,6	1,4	1,8	1,3	1,3	1,1	0,4	0,9
260	2,6	1,4	1,8	1,3	1,3	1,1	0,4	0,9
270	2,7	1,4	1,8	1,3	1,3	1,6	0,4	1,1
280	2,7	1,3	1,8	1,3	1,3	1,7	0,4	1,1
290	2,7	1,3	1,8	1,3	1,3	1,7	0,4	1,1
300	2,7	1,3	1,8	1,3	1,3	1,6	0,4	1,1

[s]	Vlna I.	Vlna II.	Vlna IV.	Vlna III.	Vlna průměrná hodnota	Viskóza I.	Viskóza II.	Viskóza III.	Viskóza průměrná hodnota
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0,2	0	0,1	0	0	0	0
20	0,2	0,4	0,6	0,6	0,5	0	0	0	0
25	0,4	0,4	0,8	0,8	0,6	0	0	0,4	0,1
30	0,6	0,6	0,8	1	0,8	0,6	0	0,8	0,5
35	0,8	0,6	0,8	1,1	0,8	1,2	0,8	1	1,0
40	0,8	1	1	1,1	1,0	1,2	1,3	1	1,2
45	0,8	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1	1,2
50	1	1,2	1,3	1,1	1,2	1,3	1,4	1	1,2
55	1	1,2	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1	1,2
60	1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1	1,2
70	1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
80	1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
90	1,1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
100	1,1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
110	1,1	1,3	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
120	1,1	1,3	1,3	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
130	1,1	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
140	1,1	1,3	1,3	1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2
150	1,1	1,3	1,3	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
160	1,2	1,3	1,3	1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2
170	1,2	1,3	1,3	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
180	1,2	1,3	1,3	1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2
190	1,2	1,3	1,3	1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2
200	1,2	1,3	1,3	1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1
210	1,2	1,3	1,3	1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1
220	1,2	1,3	1,2	1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1
230	1,2	1,3	1,2	1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
240	1,2	1,3	1,2	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
250	1,2	1,3	1,2	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
260	1,2	1,3	1,2	0,8	1,1	1,1	1	1,1	1,1
270	1,2	1,3	1,2	0,8	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
280	1,2	1,3	1,2	0,8	1,1	1,1	1	1,1	1,1
290	1,2	1,3	1,2	0,8	1,1	1,1	1	1,1	1,1
300	1,3	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1	1	1,1	1,1



[s]	Prázdný vzorek I.	Prázdný vzorek II.	Prázdný vzorek III.	Prázdný vzorek IV.	Prázdný vzorek průměrná hodnota
5	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0
25	1,1	0,2	0	0,2	0,4
30	1,4	0,2	0,2	0,6	0,6
35	1,5	0,4	0,4	0,8	0,8
40	1,6	0,4	0,6	0,8	0,9
45	1,7	0,6	0,8	0,8	1,0
50	1,7	0,6	0,8	1	1,0
55	1,7	0,6	0,8	0,8	1,0
60	1,7	0,8	0,8	0,8	1,0
70	1,7	0,8	0,8	0,8	1,0
80	1,7	0,8	0,8	0,8	1,0
90	1,7	0,8	0,8	0,8	1,0
100	1,7	0,8	0,8	1	1,1
110	1,6	0,8	0,8	1	1,1
120	1,6	0,8	1	1	1,1
130	1,6	1	0,8	1,1	1,1
140	1,6	0,8	0,8	1,1	1,1
150	1,6	0,8	0,8	1,1	1,1
160	1,5	0,8	0,8	1,1	1,1
170	1,5	0,8	0,8	1,1	1,1
180	1,5	0,8	0,8	1,1	1,1
190	1,5	0,8	0,8	1,1	1,1
200	1,5	0,8	0,8	1,1	1,1
210	1,4	0,8	0,8	1,1	1,0
220	1,4	0,8	0,8	1	1,0
230	1,4	0,8	0,8	1	1,0
240	1,4	0,8	0,8	1	1,0
250	1,4	0,6	0,8	1	1,0
260	1,4	0,8	0,8	1	1,0
270	1,4	0,8	0,6	1	1,0
280	1,5	0,8	0,8	1	1,0
290	1,5	0,8	0,8	1	1,0
300	1,5	1	0,8	1	1,1

## Prázdný vzorek



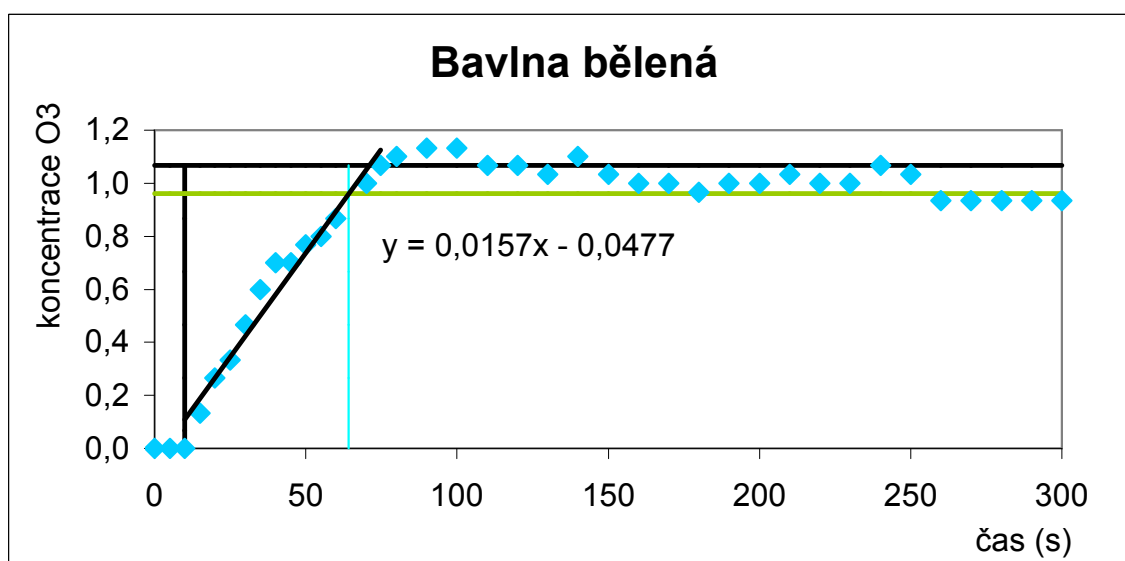
Prázdný vzorek – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty

$t_{0,9}$  (■  $t_0$ , ■  $t_{0,9}$ , ■  $c_\infty$ , ■  $c_{\infty,0,9}$ ).

$c_\infty$ (průměrná hodnota po 60s)	1,03
$c_{\infty,0,9} = y$	0,92
$t_{0,9} = x [y=0,0323x-0,4741]$	43,24

Prázdný vzorek – výpočet  $t_{0,9}$

## Bavlna bělená



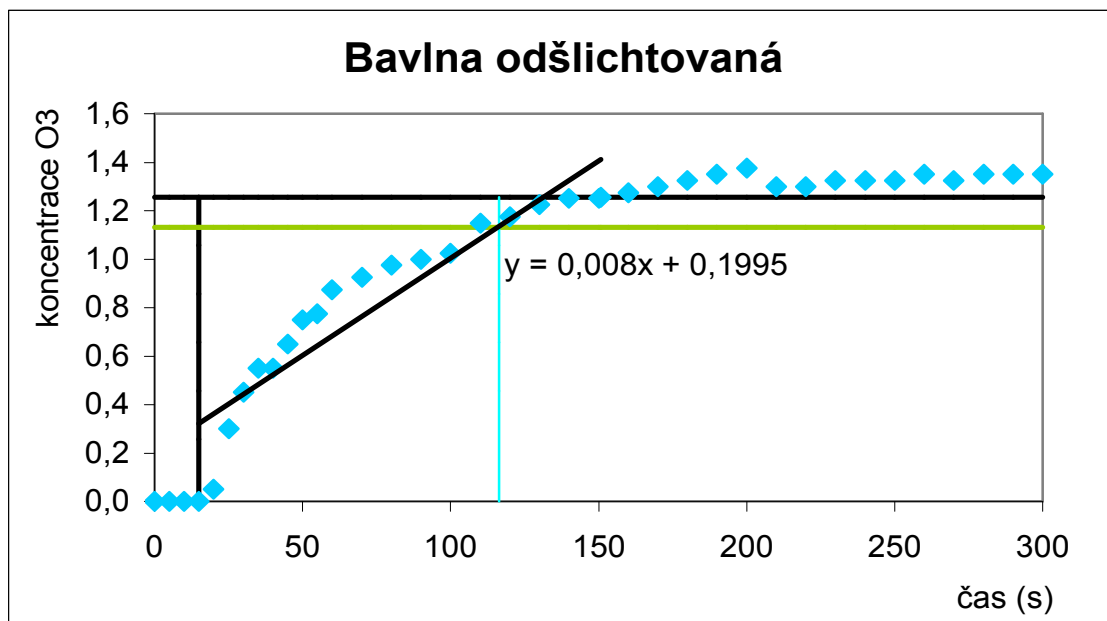
Bavlna bělená – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty

$t_{0,9}$  (■  $t_0$ , ■  $t_{0,9}$ , ■  $c_\infty$ , ■  $c_{\infty,0,9}$ ).

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,07
$c_{\infty 0,9} = y$	0,96
$t_{0,9} = x [y=0,0157x-0,0477]$	64,19

*Bavlna bělená – výpočet  $t_{0,9}$*

### Bavlna odšlichtovaná



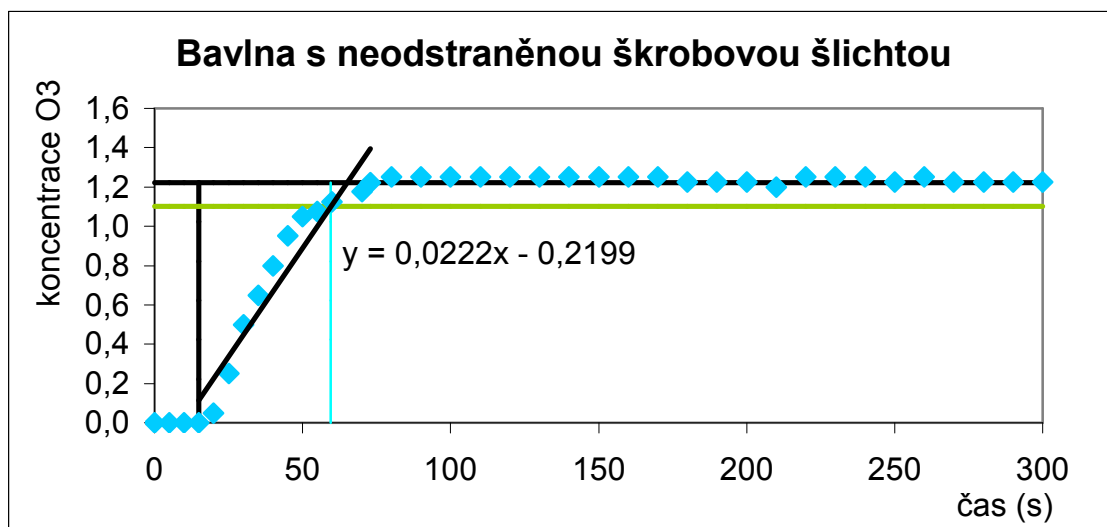
*Bavlna odšlichtovaná – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty*

*$t_{0,9}$  (┆  $t_0$ , ┆  $t_{0,9}$ , ─  $c_{\infty}$ , ─  $c_{\infty 0,9}$ ).*

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,26
$c_{\infty 0,9} = y$	1,13
$t_{0,9} = x [y=0,008x+0,1995]$	116,43

*Bavlna odšlichtovaná – výpočet  $t_{0,9}$*

### Bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou

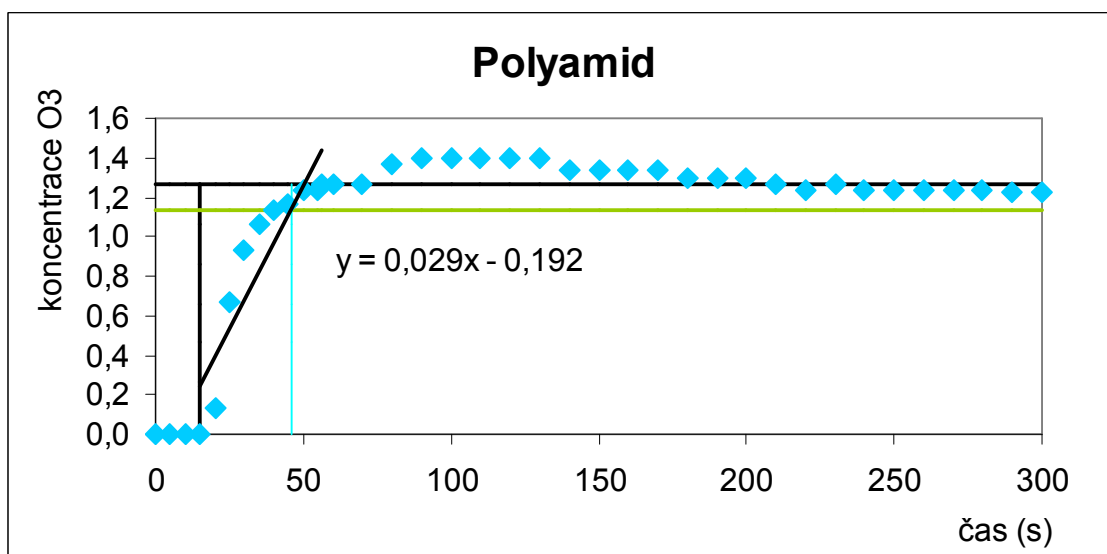


Bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty  $t_{0,9}$  ( $t_0$ ,  $t_{0,9}$ ,  $c_\infty$ ,  $c_{\infty(0,9)}$ ).

$c_\infty$ (průměrná hodnota po 60s)	1,22
$c_{\infty(0,9)} = y$	1,10
$t_{0,9} = x [y=0,0222x-0,2199]$	59,48

Bavlna s neodstraněnou škrobovou šlichtou – výpočet  $t_{0,9}$

### Polyamid



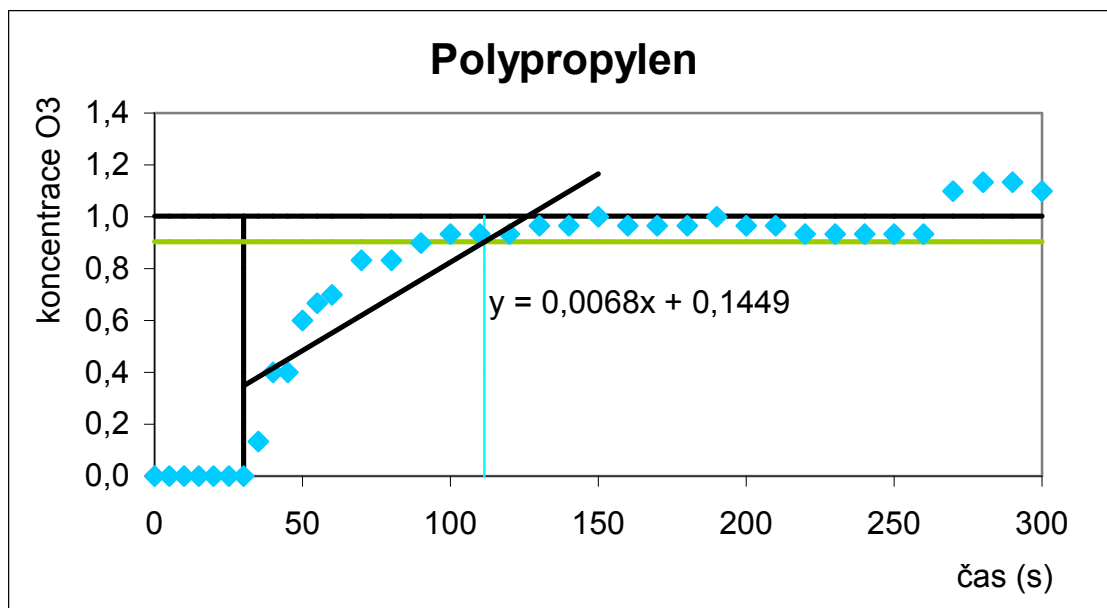
Polyamid – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty

$t_{0,9}$  ( $t_0$ ,  $t_{0,9}$ ,  $c_\infty$ ,  $c_{\infty(0,9)}$ ).

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,26
$c_{\infty 0,9} = y$	1,14
$t_{0,9} = x [y=0,029x-0,192]$	45,81

*Polyamid – výpočet  $t_{0,9}$*

### Polypropylen



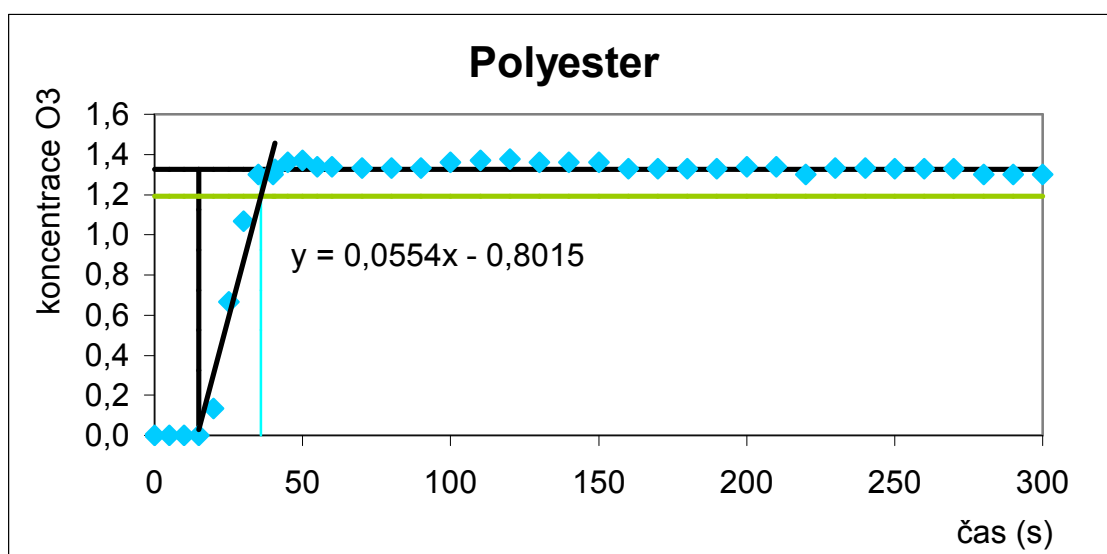
*Polypropylen – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty*

$t_{0,9}$  (■  $t_0$ , ■  $t_{0,9}$ , ■  $c_{\infty}$ , ■  $c_{\infty 0,9}$ ).

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,00
$c_{\infty 0,9} = y$	0,90
$t_{0,9} = x [y=0,0068x+0,1449]$	111,43

*Polypropylen – výpočet  $t_{0,9}$*

## Polyester

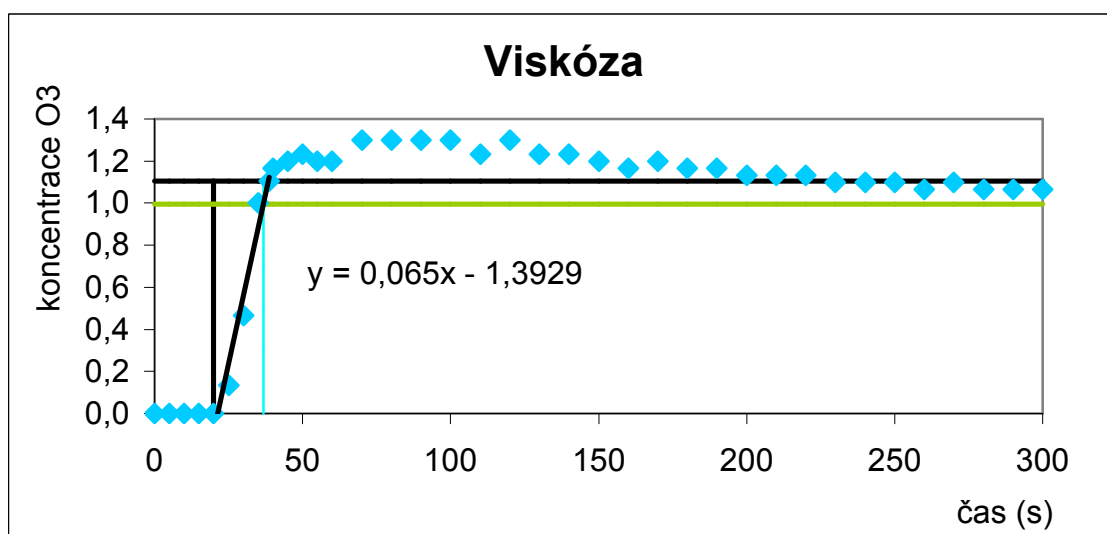


*Polyester – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty  $t_{0,9}$  (  $t_0$ ,  $t_{0,9}$ ,  $c_\infty$ ,  $c_{\infty 0,9}$  ).*

$c_\infty$ (průměrná hodnota po 60s)	1,33
$c_{\infty 0,9} = y$	1,19
$t_{0,9} = x [y=0,0554s-0,8015]$	35,99

*Polyester – výpočet  $t_{0,9}$*

## Viskóza



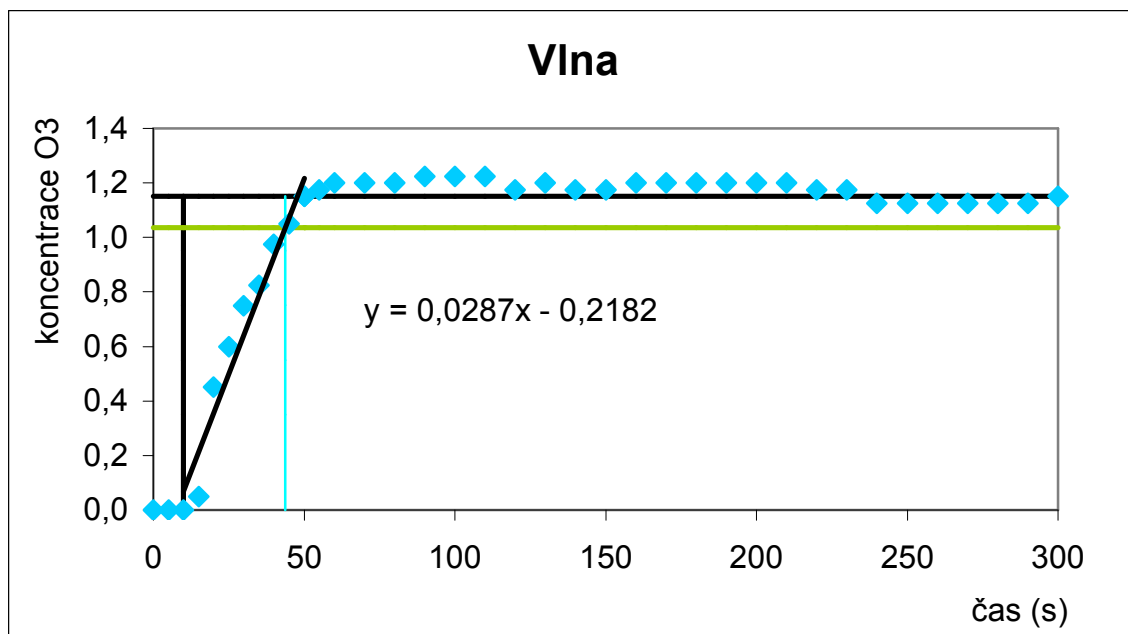
*Viskóza – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty*

*$t_{0,9}$  (  $t_0$ ,  $t_{0,9}$ ,  $c_\infty$ ,  $c_{\infty 0,9}$  ).*

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,11
$c_{\infty 0,9} = y$	1,00
$t_{0,9} = x$ [ $y=0,065x-1,3929$ ]	36,74

Viskóza – výpočet  $t_{0,9}$

## Vlna



Vlna – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty  $t_{0,9}$  (I  $t_{0,9}$ , I

$t_{0,9}$ , —  $c_{\infty}$ , —  $c_{\infty 0,9}$ ).

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,15
$c_{\infty 0,9} = y$	1,04
$t_{0,9} = x$ [ $y=0,0287x-0,2182$ ]	43,69

Vlna – výpočet  $t_{0,9}$

## Experiment č. 2 – vlákna – výsledky měření

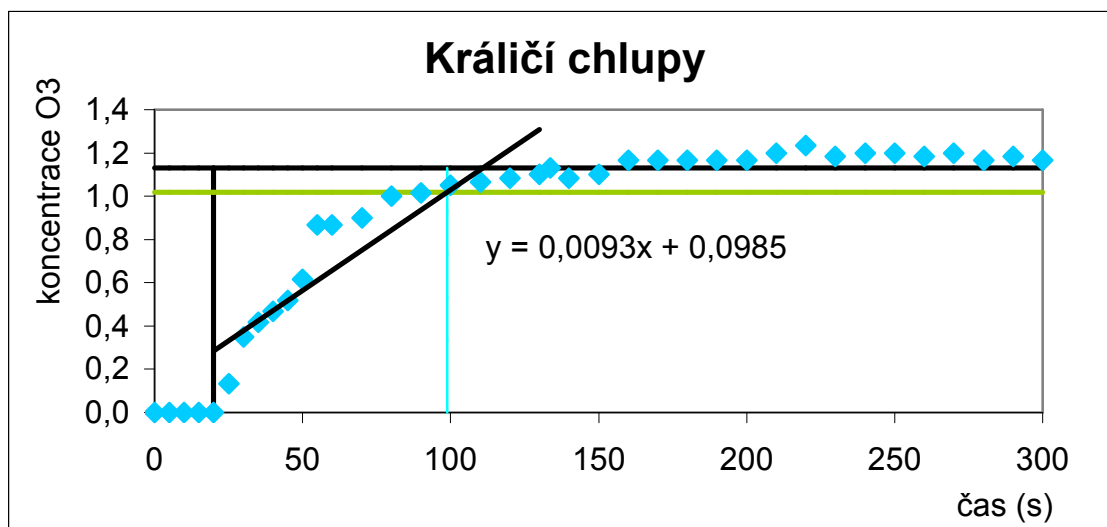
Naměřené hodnoty koncentrace ozonu jednotlivých textilních materiálů (vláken).

[s]	Králičí chlupy I.	Králičí chlupy II.	Králičí chlupy III.	Králičí chlupy IV.	Králičí chlupy V.	Králičí chlupy VI.	Králičí chlupy průměrná hodnota	Len I.	Len II.	Len III.	Len průměrná hodnota
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0		0	0,8	0	0	0,3
25	0	0,2	0	0	0	0,6	0,1	1,4	0	0,2	0,5
30	0,4	0,2	0	0,2	0,2	1,1	0,4	1,6	0,2	0,6	0,8
35	0,6	0,2	0	0,2	0,2	1,3	0,4	1,7	0,2	0,6	0,8
40	0,6	0,4	0	0,2	0,2	1,4	0,5	1,8	0,6	0,8	1,1
45	0,6	0,4	0	0,4	0,2	1,5	0,5	1,9	0,6	1,2	1,2
50	0,8	0,6	0	0,6	0,2	1,5	0,6	1,9	0,8	1,4	1,4
55	0,8	0,8	0,8	1	0,2	1,6	0,9	1,9	0,8	1,4	1,4
60	0,8	0,8	0,8	1	0,2	1,6	0,9	2	1,1	1,4	1,5
70	1	0,8	0,8	1	0,2	1,6	0,9	2	1,2	1,4	1,5
80	1	1,1	0,8	1,1	0,4	1,6	1,0	2	1,2	1,4	1,5
90	1	1,1	0,8	1,2	0,4	1,6	1,0	2,1	1,2	1,4	1,6
100	1	1,1	0,8	1,2	0,6	1,6	1,1	2,1	1,2	1,4	1,6
110	1,1	1,1	1	1,2	0,4	1,6	1,1	2,1	1,2	1,4	1,6
120	1,1	1,2	1	1,2	0,4	1,6	1,1	2,1	1,2	1,4	1,6
130	1,1	1,1	1	1,2	0,6	1,6	1,1	2,1	1,2	1,4	1,6
140	1,1	1,2	1	1,2	0,4	1,6	1,1	2,1	1,2	1,4	1,6
150	1,1	1,2	1	1,3	0,4	1,6	1,1	2,1	1,2	1,4	1,6
160	1,1	1,2	1	1,3	0,8	1,6	1,2	2,1	1,2	1,4	1,6
170	1,1	1,2	1	1,3	0,8	1,6	1,2	2,1	1,2	1,4	1,6
180	1,1	1,2	1	1,3	0,8	1,6	1,2	2,1	1,2	1,4	1,6
190	1,1	1,2	1	1,3	0,8	1,6	1,2	2,1	1,2	1,4	1,6
200	1,1	1,2	1	1,3	0,8	1,6	1,2	2,1	0,8	1,6	1,5
210	1,1	1,1	1	1,3	1,1	1,6	1,2	2,1	0,8	1,6	1,5
220	1,1	1,2	1	1,3	1,2	1,6	1,2	2,1	0,8	1,6	1,5
230	1,1	1,1	1	1,2	1,1	1,6	1,2	2,1	0,6	1,6	1,4
240	1,1	1,1	1	1,3	1,1	1,6	1,2	2,1	0,4	1,6	1,4
250	1,1	1,2	1	1,2	1,1	1,6	1,2	2,1	0,6	1,6	1,4
260	1,1	1,1	1	1,2	1,1	1,6	1,2	2,1	0,6	1,4	1,4
270	1,1	1,1	1	1,2	1,2	1,6	1,2	2,1	0,6	1,2	1,3
280	1	1,1	1	1,2	1,1	1,6	1,2	2,1	0,6	1,4	1,4
290	1	1,1	1	1,2	1,2	1,6	1,2	2,1	0,6	1,4	1,4
300	1	1,1	1	1,2	1,1	1,6	1,2	2,1	0,6	1,2	1,3



[s]	Uhlíková vlákna I.	Uhlíková vlákna II.	Uhlíková vlákna III.	Uhlíková vlákna průměrná hodnota	Vlna surová I.	Vlna surová II.	Vlna surová III.	Vlna surová průměrná hodnota
5	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0,2	0	0	0,1
25	1	0	0	0,3	0,4	0	0,2	0,2
30	1,3	0	0	0,4	0,6	0,2	0,4	0,4
35	1,5	0	0,6	0,7	0,8	0,2	0,4	0,5
40	1,6	0	0,8	0,8	0,8	0,2	0,6	0,5
45	1,6	0,6	0,8	1,0	0,8	0,2	0,6	0,5
50	1,6	0,6	1,2	1,1	1	0,4	0,8	0,7
55	1,6	0,8	1,6	1,3	1	0,4	0,8	0,7
60	1,6	1,2	1,6	1,5	1	0,4	1	0,8
70	1,6	1,4	1,6	1,5	1	0,4	1	0,8
80	1,6	1,4	1,6	1,5	1	0,6	1,1	0,9
90	1,6	1,4	1,6	1,5	1,1	0,8	1	1,0
100	1,6	1,4	1,5	1,5	1,1	0,8	1,1	1,0
110	1,5	1,4	1,6	1,5	1,1	0,8	1,1	1,0
120	1,5	1,4	1,5	1,5	1,1	0,8	1,1	1,0
130	1,5	1,4	1,5	1,5	1,1	0,8	1,1	1,0
140	1,5	1,4	1,5	1,5	1,1	0,8	1,1	1,0
150	1,5	1,3	1,5	1,4	1,1	0,8	1,1	1,0
160	1,5	1,3	1,4	1,4	1,2	0,8	1,1	1,0
170	1,5	1,3	1,4	1,4	1,2	0,8	1,1	1,0
180	1,5	1,3	1,4	1,4	1,2	0,8	1,1	1,0
190	1,5	1,3	1,4	1,4	1,2	0,8	1,2	1,1
200	1,4	1,3	1,4	1,4	1,2	0,8	1,2	1,1
210	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
220	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
230	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
240	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
250	1,3	1,2	1,4	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
260	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
270	1,4	1,2	1,3	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
280	1,4	1,2	1,3	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
290	1,4	1,2	1,4	1,3	1,2	0,8	1,2	1,1
300	1,4	1,2	1,2	1,3	1,3	0,8	1,2	1,1

## Králičí chlupy



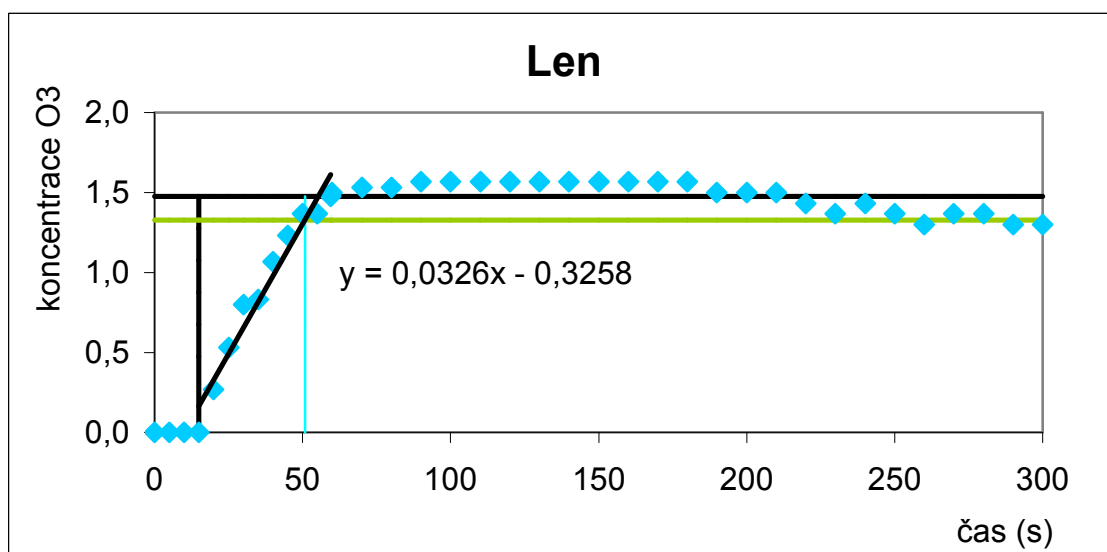
Králičí chlupy – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty

$t_{0,9}$  ( $\blacksquare$   $t_0$ ,  $\text{cyan}$   $t_{0,9}$ ,  $\text{black}$   $c_\infty$ ,  $\text{green}$   $c_{\infty 0,9}$ ).

$c_\infty$ (průměrná hodnota po 60s)	1,13
$c_{\infty 0,9} = y$	1,02
$t_{0,9} = x$ [ $y=0,0323x-0,4741$ ]	98,88

Králičí chlupy – výpočet  $t_{0,9}$

## Len



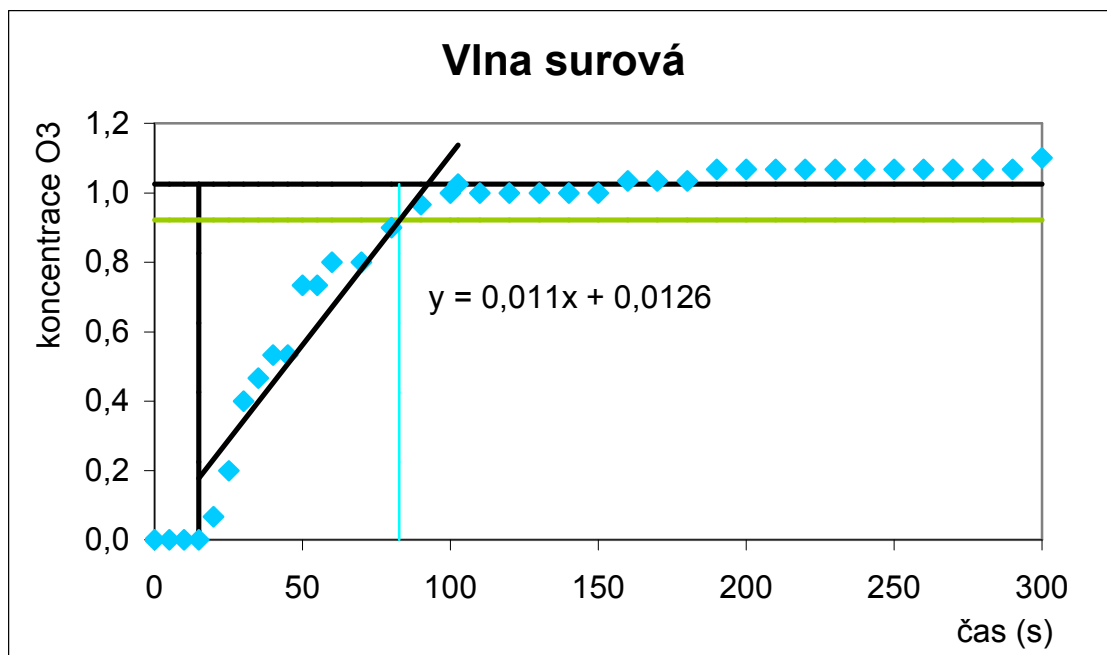
Len – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty

$t_{0,9}$  ( $\blacksquare$   $t_0$ ,  $\text{cyan}$   $t_{0,9}$ ,  $\text{black}$   $c_\infty$ ,  $\text{green}$   $c_{\infty 0,9}$ ).

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,48
$c_{\infty 0,9} = y$	1,33
$t_{0,9} = x [y=0,0323x-0,4741]$	50,79

*Len – výpočet  $t_{0,9}$*

### Vlna surová



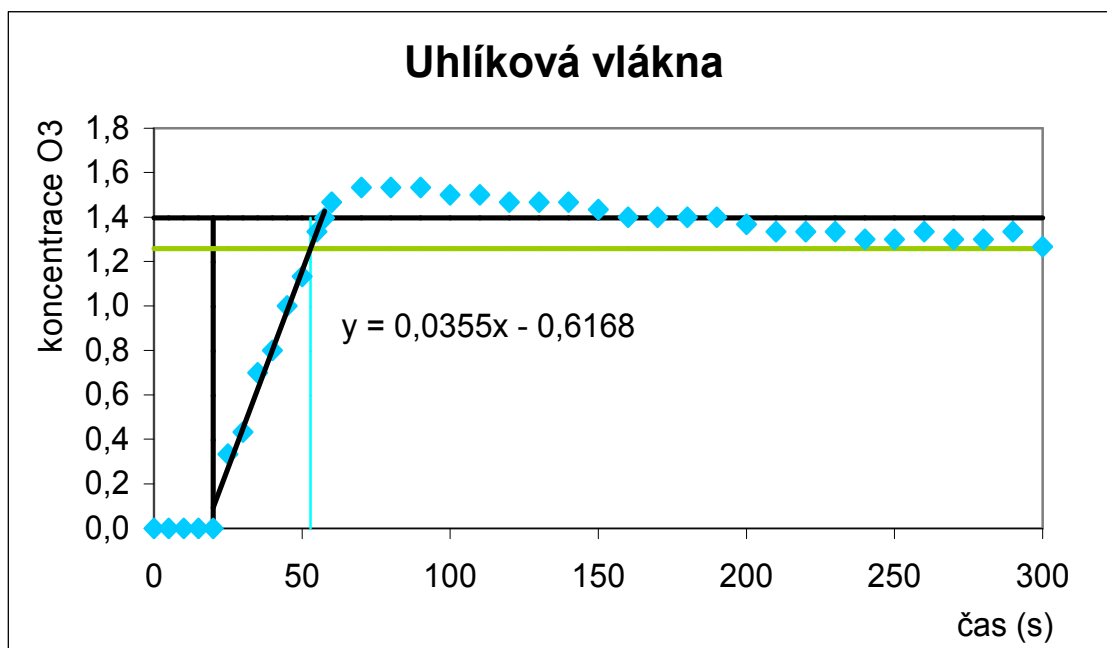
*Vlna surová – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty*

*$t_{0,9}$  (■  $t_0$ , ■  $t_{0,9}$ , ■  $c_{\infty}$ , ■  $c_{\infty 0,9}$ ).*

$c_{\infty}$ (průměrná hodnota po 60s)	1,025
$c_{\infty 0,9} = y$	0,9225
$t_{0,9} = x [y=0,0323x-0,4741]$	82,72

*Vlna surová – výpočet  $t_{0,9}$*

## Uhlíková vlákna



Uhlíková vlákna – výpočet  $t_{0,9}$ . Rovnice regrese byla použita pro výpočet hodnoty

$t_{0,9}$  (■  $t_0$ , ■  $t_{0,9}$ , ■  $c_\infty$ , ■  $c_{\infty(0,9)}$ ).

$c_\infty$ (průměrná hodnota po 60s)	1,025
$c_{\infty(0,9)} = y$	0,9225
$t_{0,9} = x$ [ $y=0,0323x-0,4741$ ]	82,72

Uhlíková vlákna – výpočet  $t_{0,9}$

## Příloha č. 2 – Vliv ozonu na mechanické vlastnosti textilních materiálů

### Experiment č. 3 – tkaniny

Naměřené hodnoty viz příloha na CD ROM – *Mechanické\_vlas.-tkaniny.xls*

### Experiment č. 4 – příze

Naměřené hodnoty viz příloha na CD ROM - *Mechanické\_vlas.-příze.xls*

Přehled hodnot pro výpočet modulu pružnosti.

Modul pružnosti							
Bavlna							
Jemnost T = 0,18 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
Napětí do přetrhu [N.tex <sup>-1</sup> ]	7,150	7,028	5,976	4,497	4,608	2,509	0,604
Prodloužení [%]	4,79	4,38	4,38	3,71	3,3	2,38	1,69
E [GPa]	1,493	1,605	1,364	1,212	1,396	1,054	0,357
PES							
Jemnost T = 0,46 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
Napětí do přetrhu [N.tex <sup>-1</sup> ]	21,971	18,201	19,442	20,732	20,317	22,543	22,115
Prodloužení [%]	31,127	27,212	29,462	29,63	29,462	30,378	30,378
E [GPa]	0,706	0,669	0,660	0,700	0,690	0,742	0,728
Vlna							
Jemnost T = 0,36 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
Napětí do přetrhu [N.tex <sup>-1</sup> ]	6,875	6,755	6,949	6,893	6,701	6,568	6,88
Prodloužení [%]	13,88	11,545	12,877	19,38	14,462	15,794	15,384
E [GPa]	0,495	0,585	0,540	0,356	0,463	0,416	0,447

### Příloha č. 3 - Vliv ozonu na mechanické vlastnosti Kevlaru

#### Experiment č. 5 – Kevlar (tkanina)

Naměřené hodnoty viz příloha na CD ROM - *Mechanické\_vlas.-Kevlar-tkaniny.xls*

#### Experiment č. 6 – Kevlar (příze)

Naměřené hodnoty viz příloha na CD ROM - *Mechanické\_vlas.-Kevlar-příze.xls*

Přehled hodnot pro výpočet modulu pružnosti.

Modul pružnosti							
Kevlar							
Jemnost T = 2,61 tex							
	0 hod	1 hod	3 hod	14 hod	20 hod	168 hod	330 hod
Napětí do přetrhu [N.tex <sup>-1</sup> ]	46,599	57,200	57,449	51,464	41,164	50,448	42,871
Prodloužení [%]	8,081	6,975	9,334	8,603	8,754	7,368	6,624
E [GPa]	5,766	8,201	6,155	5,982	4,702	6,847	6,472

## Příloha č.4 - Vliv ozonu na smáčivost textilních materiálů

### Experiment č. 7 – smáčivost textilních materiálů

Přehled naměřených hodnot a výpočet průměrných hodnot.

PA											
Ozonizované vzorky											
											Průměrná hodnota
Doba vpití kapky	395	343	380	453	409	483	303	230	357	395	373
Rozpítí po osnově	15	18	15	16	15	11	16	23	14	15	16
Rozpítí po útku	43	25	3	27	24	32	29	24	25	43	26
Neozonizované vzorky											
											Průměrná hodnota
Doba vpití kapky	202	236	278	205	266	245	410	346	376	202	285
Rozpítí po osnově	26	29	28	28	28	28	16	15	15	26	24
Rozpítí po útku	35	32	32	32	31	31	35	38	36	35	34
PES											
Ozonizované vzorky											
											Průměrná hodnota
Doba vpití kapky	81	82	138	549	269	188	485	375	637	81	312
Rozpítí po osnově	22	21	24	19	23	21	18	18	17	22	20
Rozpítí po útku	19	21	18	15	14	15	14	16	12	19	16
Neozonizované vzorky											
											Průměrná hodnota
Doba vpití kapky	325	569	861	901	570	455	150	176	150	325	462
Rozpítí po osnově	16	22	25	2	23	23	23	24	21	16	20
Rozpítí po útku	15	14	1	11	14	11	2	2	2	15	8
Viskóza											
Ozonizované vzorky											
											Průměrná hodnota

<b>Doba vpítí kapky</b>	6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6
<b>Rozpítí po osnově</b>	18	18	18	18	18	17	18	18	18	18	18
<b>Rozpítí po útku</b>	16	17	17	16	17	17	17	17	16	16	17
<b>Neozonizované vzorky</b>											
											<b>Průměrná hodnota</b>
<b>Doba vpítí kapky</b>	4	4	5	4	5	5	5	5	5	4	5
<b>Rozpítí po osnově</b>	19	19	18	18	19	18	18	18	18	19	18
<b>Rozpítí po útku</b>	16	16	17	16	17	16	17	17	17	16	17

## Příloha č. 5 – Vliv ozonu na odbarvování textilních materiálů

### Experiment č. 8 – odbarvování roztoku barviva

Přehled hodnot pro výpočet exponenciální funkce  $f(x) = 100 * (1 - e^{-kt})$

	<b>Časový posun</b>	<b>Naměřená absorbance</b>	<b>Procentuelní úbytek barviva</b>	<b>Regresní konstanta</b>	<b>MNČ</b> $f(x) = 100 * (1 - e^{-kt})$
0	0	0,129	100	0,021213	0
5	15	0,092	71,31783	0,021213	27,25407
10	20	0,084	65,11628	0,021213	34,57482
20	30	0,067	51,93798	0,021213	47,0803
30	40	0,056	43,41085	0,021213	57,19546
45	55	0,045	34,88372	0,021213	68,86144
60	70	0,028	21,70543	0,021213	77,34796
90	100	0,015	11,62791	0,021213	88,01261
120	130	0,005	3,875969	0,021213	93,65631
180	190	0,001	0,775194	0,021213	98,22345
240	250	0,001	0,775194	0,021213	99,50248
300	310	0,001	0,775194	0,021213	99,86067

## Experiment č. 9 – odbarvování PA fólie

Přehled naměřených hodnot absorbance + výpočet intervalu spolehlivosti.

Působení ozonu (minuty)							
	Nebarvená PA fólie	0	30	45	60	90	210
1	0,051	0,14	0,165	0,145	0,125	0,138	0,137
2	0,05	0,143	0,171	0,146	0,134	0,144	0,139
3	0,05	0,148	0,185	0,164	0,137	0,149	0,145
4	0,051	0,156	0,188	0,168	0,137	0,155	0,154
5	0,051	0,152	0,194	0,176	0,141	0,167	0,149
6	0,051	0,156	0,191	0,167	0,147	0,165	0,154
7	0,051	0,151	0,186	0,164	0,148	0,157	0,168
8	0,053	0,153	0,179	0,179	0,152	0,143	0,166
9	0,05	0,138	0,177	0,171	0,152	0,139	0,152
10	0,05	0,136	0,178	0,162	0,145	0,127	0,167
11	0,052	0,157	0,191	0,13	0,149	0,123	0,155
12	0,052	0,159	0,185	0,146	0,12	0,122	0,147
13	0,052	0,162	0,18	0,137	0,119	0,125	0,14
14	0,052	0,168	0,179	0,147	0,123	0,134	0,142
15	0,052	0,146	0,171	0,15	0,191	0,149	0,144
16	0,051	0,137	0,174	0,145	0,16	0,16	0,16
17	0,052	0,166	0,179	0,168	0,15	0,159	0,172
18	0,053	0,165	0,174	0,163	0,148	0,122	0,163
19	0,051	0,162	0,194	0,167	0,141	0,121	0,157
20	0,051	0,139	0,185	0,164	0,139	0,123	0,166
průměr	0,051	0,152	0,181	0,158	0,143	0,141	0,154
směrodatná odchylka	0,0009	0,0101	0,0079	0,0132	0,0157	0,0155	0,0105
IS +	0,052	0,156	0,185	0,164	0,150	0,148	0,159
IS -	0,051	0,147	0,178	0,152	0,136	0,134	0,149



## Experiment č. 10 – odbarvování PA tkaniny

Přehled naměřených hodnot + výpočet barevné odchylky  $\Delta E^*$

		<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b><math>\Delta E^*</math></b>
<b>0min</b>	0	74,05496	26,28657	40,87896	88,57884
<b>30min</b>	30	73,22189	28,32547	44,17886	90,08634
<b>45min</b>	45	73,82721	27,91312	43,14097	89,94855
<b>60min</b>	60	74,18083	27,2052	41,32849	89,16817
<b>90min</b>	90	74,045	27,74149	41,96426	89,51677
<b>210min</b>	210	74,6862	26,99873	40,99692	89,37397

## Příloha č. 6 – Vliv ozonu na chemické poškození bavlny

### Experiment č. 11 – chemické poškození vlny

Přehled naměřených hodnot pro výpočet Cu-čísla.

<b>Stanovení Cu-čísla</b>			
	Hmotnost [g]	Spotřeba 0,02M KMnO <sub>4</sub> [ml]	Cu-číslo
Neozonizovaná bavlna	0,056	0,1	1,14
Ozonizovaná bavlna	0,055	1,2	13,88

$$\text{Cu-číslo neozonizované bavlny} \quad \check{c}_{Cu} = \frac{0,636 * n}{g} = \frac{0,636 * 0,1}{0,056} = 1,14$$

$$\text{Cu-číslo ozonizované bavlny} \quad \check{c}_{Cu} = \frac{0,636 * n}{g} = \frac{0,636 * 1,2}{0,055} = 13,88$$